

**Universitat
de Lleida**



Determinació dels paràmetres òptims d'escaneig d'arbres fruiters i vinya amb un sistema basat en LiDAR

Treball Final de Grau

Grau en Enginyeria Agrària i Alimentària

Albert Alsina Tehàs

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

Universitat de Lleida

Direcció:

Alexandre Escolà Agustí

Jordi Llorens Calveras

Lleida, juliol de 2018

Treball final de grau desenvolupat gràcies al *Projecte AgVANCE: Herramientas de base fotonica para la gestión agronómica y el uso de productos fitosanitarios sostenible en cultivos arbóreos en el marco de la agricultura de precisión* del Plan Estatal I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad i finançat pel Ministeri d'economia i competitivitat del Govern Espanyol.



Referència de projecte: **AGL2013-48297-C2-2-R**

AGRAÏMENTS

En aquest petit apartat m'agradaria agrair la dedicació i la col·laboració de les persones que han participat i han facilitat el correcte desenvolupament d'aquest projecte. Sense ells no hauria estat possible assolir els objectius plantejats.

- Als meus tutors, l'Alexandre Escolà i el Jordi Llorens, per brindar-me l'oportunitat de participar en el projecte AgVANCE, per la seva implicació i pels coneixements que m'han aportat.
- Al Joan Ramon Rosell Polo, per la seva ajuda amb el tractament de les dades amb MATLAB.
- Als components del Grup d'Investigació en AgròTICa i Agricultura de Precisió (GRAP) que al seu dia van participar en la presa de dades a camp i en el disseny de l'experiment.
- A tots aquells que no he anomenat, però que també han participat d'alguna forma en aquest treball experimental.

A tots vosaltres, moltes gràcies.

RESUM

Aquest treball presenta un mètode bastat en un sensor LiDAR per caracteritzar la vegetació de pomeres i de vinya i poder ajustar, d'aquesta forma, els inputs segons les necessitats que presenten els cultius.

La caracterització està basada en un escaneig continu de la vegetació. Donat que no es coneix quina és la posició òptima del sensor per obtenir resultats valuosos, s'ha dut a terme una comparativa entre diferents alçades d'escaneig. Els resultats que s'han obtingut són molt satisfactoris. Per una banda, les alçades òptimes d'escaneig se situen entre 1,3 m i 5 m com a màxim. Per altra banda, les velocitats d'avanç màxim són aproximadament de 3,5 km·h⁻¹. Aquestes velocitats d'avanç permeten dur a terme una doble tasca, per exemple, escanejar i desbrossar els carrers d'una única vegada.

Finalment, l'avaluació econòmica que s'ha desenvolupat consisteix en una anàlisi estàtica de la inversió i es calcula quin podria ser el preu de venda d'aquest servei, tot considerant un conjunt de variables, com per exemple la compra de material i el servei tècnic a oferir, entre altres. Els preus de venda calculats giren entorn els 65 €·ha⁻¹.

RESUMEN

Este trabajo presenta un método basado en un sensor LiDAR para caracterizar la vegetación de manzanos y de viña y poder ajustar, así, los inputs según las necesidades que presentan los cultivos.

La caracterización está basada en un escaneo continuo de la vegetación. Dado que no se conoce la posición óptima del sensor para obtener resultados valiosos, se ha hecho una comparativa entre distintas alturas de escaneo. Los resultados que se han obtenido son muy satisfactorios. En primer lugar, las velocidades de avance máximo son aproximadamente de $3,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Estas velocidades de avance permiten hacer una doble tarea de campo, por ejemplo, escanear y desbrozar las calles en una única pasada.

Finalmente, la evaluación económica que se ha desarrollado consiste en una análisis estática de la inversión y se calcula cual podría ser el precio de venda de este servicio, considerando un conjunto de variables, como por ejemplo la compra de material y el servicio técnico a ofrecer, entre otros. Los precios de venda calculados giran en torno a los $65 \text{ €}\cdot\text{ha}^{-1}$.

SUMMARY

This work presents a system based on a LiDAR sensor and a GNSS-RTK receiver to characterize the vegetation of apple trees and vineyards in order to adjust the inputs to be applied according to the crop dimensions. The characterization is based on a continuous scanning of the vegetation.

With the development and spread of affordable drones, the optimal sensor height to obtain acceptable results is not known and needs to be studied. For this purpose, a comparison has been carried out between canopy scans from different heights. The obtained results are very satisfactory. On the one hand, the optimum scanning heights are between 1,3 m and 5 m, as maximum. On the other hand, the maximum forward speed is approximately 3,5 km·h⁻¹. This speed allows the vegetation to be scanned while performing another field task, for example, scanning and mowing the alleyways.

Finally, an economic evaluation consisting in a static analysis of the investment has been carried out and the sale price of scanning orchards and vineyards as a service has been determined. Variables such as the purchase cost of material and the offered technical service have been considered, among others. The calculated sales prices turned to be around 65 €·ha⁻¹.



ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	8
2. OBJECTIUS	11
3. MATERIAL I MÈTODES.....	12
3.1. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA D'ESCANEIG	12
3.1.1. SENSOR LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING).....	12
3.1.2. GEOREFERENCIACIÓ DE DADES	15
3.1.3. SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE DADES.....	16
3.1.4. PLATAFORMA ELEVADORA.....	17
3.2. ADQUISICIÓ DE LES DADES	18
3.3. ANÀLISI I MANEIG DE LES DADES	21
3.3.1. CÀLCUL DE VOLUMS, AMPLADES I ALÇADES	27
3.3.2. DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT ÒPTIMA D'ESCANEIG.....	35
3.4. TRACTAMENT ESTADÍSTIC DE LES DADES	36
3.5. AVALUACIÓ ECONÒMICA.....	37
3.6. SOFTWARE UTILITZAT	39
4. RESULTATS	40
4.1. RESULTATS EN POMERS	40
4.1.1. AMPLADA DE CAPÇADA	40
4.1.2. ALÇADA DE CAPÇADA	43
4.1.3. SECCIÓ TRANSVERSAL DE CAPÇADA.....	46
4.1.4. VOLUM DE CAPÇADA.....	49
4.2. RESULTATS EN VINYA.....	51
4.2.1. AMPLADA DE CAPÇADA	51
4.2.2. ALÇADA DE CAPÇADA	54
4.2.3. SECCIÓ TRANSVERSAL DE CAPÇADA	57
4.2.4. VOLUM DE CAPÇADA.....	60
4.3. CORRELACIÓ ENTRE ALÇADES D'ESCANEIG PER VELOCITAT LENTA	62
4.3.1. POMERES	62
4.3.2. VINYA.....	64
4.4. COMPARATIVA ENTRE VELOCITATS D'ESCANEIG.....	66
4.4.1. POMERES	67
4.4.2. VINYA.....	69



4.5. RESPOSTA DELS PARÀMETRES D'ESTUDI EN AUGMENTAR LA VELOCITAT	70
4.5.1. POMERA.....	71
4.5.2. VINYA.....	74
5. DISCUSSIÓ	76
6. AVALUACIÓ ECONÒMICA	79
6.1. ESCANEIG TERRESTRE	79
6.2. ESCANEIG AERI	81
7. CONCLUSIONS	84
8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	86
9. ANNEX	89

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Gràfic representatiu de la superfície agrícola (a) ocupada pels cultius a Catalunya l'any 2016 i de la seva producció (b) . Font: Institut d'Estadística de Catalunya.....	8
Figura 2: Principi de funcionament d'un sensor LiDAR <i>time-of-flight</i>	12
Figura 3: Sensor LiDAR HOKUYO UTM30-LX-EW.	13
Figura 4: Rang angular de lectures del sensor LiDAR HOKUYO UTM30-LX-EW....	14
Figura 5: Configuració del sistema d'adquisició de dades a la cistella de la plataforma elevadora.	15
Figura 6: Equip Leica Model GX1230 utilitzat com a base per a la correcció RTK..	16
Figura 7: Ordinador Getac utilitzat per a adquirir les dades de camp.....	16
Figura 8: Plataforma elevadora de la casa comercial <i>Manitou</i>	17
Figura 9: Interacció entre els diferents sistemes utilitzats.	18
Figura 10: Parcel·la de l'ETSEA on es va dur a terme l'assaig (Font: Google Earth ®).....	19
Figura 11: Representació de la filera escanejada (centre) i de les dues adjacents amb les posicions d'escaneig terrestres (punt blau) i aèries (punt vermell).....	20
Figura 12: Fila de pomers escanejada per sobre la fila a 13 m (a) i de vinya escanejada per sobre la fila a 11 m (b)	21
Figura 13: Núvol de punts 3D dels arbres fruiters escanejats a una alçada de 5 m des del centre del carrer dret i esquerra adjacents a la filera d'estudi.....	23
Figura 14: Fileres de pomers (a) i de vinya (b) retallades amb les eines <i>Segment</i> i <i>Cross Section</i>	24
Figura 15: Superfície <i>raster</i> corresponent a la superfície del sòl obtinguda per triangulació de punts de cota mínima des d'una alçada d'escaneig de 13 m pel cultiu de poma.....	25
Figura 16: Vistes frontals de la fileres de pomers (a) i vinya (b) sense filtrar i descartant el tram inicial de tronc i la coberta vegetal.	26
Figura 17: Representació d'un núvol de punts de pomers (a) i de vinya (b) amb la seva orientació original i projectat sobre el pla X-Y.....	29
Figura 18: Representació d'un núvol de punts de pomers (a) i de vinya (b) amb les dades girades.....	30
Figura 19: Detall de la caixa d'anàlisi.	31

Figura 20: Secció transversal d'anàlisi d'una filera de poma girada.....	32
Figura 21: Punts d'inici i de fi d'escaneig per les fileres de pomers (a) i vinya (b)	33
Figura 22: Caixes d'anàlisi excloses de l'anàlisi d'una filera de pomers. Identificades de color vermell al costat dret i esquerre.	34
Figura 23: Direcció d'avanç per als escanejors terrestres i aeris (Autor: Alexandre Escolà).	38
Figura 24: Seqüència dels programes utilitzats.	39
Figura 25: Diagrama de barres de les amplades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.	40
Figura 26: Correlació de les amplades de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.	42
Figura 27: Diagrama de barres de les alçades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.	43
Figura 28: Correlació de les alçades de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.	45
Figura 29: Diagrama de barres de les seccions transversals de capçada <i>CHULL</i> mitjanes, màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.	46
Figura 30: Correlació de les seccions transversals de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.	48
Figura 31: Diagrama de barres dels volums de capçada màxims mitjans i percentil 90 mitjans de les pomeres.	49
Figura 32: Correlació dels volums de capçada màxims i percentil 90 de les pomeres.	50
Figura 33: Diagrama de barres de les amplades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.	51
Figura 34: Correlació de les amplades de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.	53
Figura 35: Diagrama de barres de les alçades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.	54
Figura 36: Correlació de les alçades de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.	56

Figura 37: Diagrama de barres de les seccions transversals de capçada <i>CHULL</i> mitjanes, màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.....	57
Figura 38: Correlació de les seccions transversals de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.....	59
Figura 39: Diagrama de barres dels volums de capçada màxims mitjans i percentil 90 mitjans de la vinya.	60
Figura 40: Correlació dels volums de capçada màxims i percentil 90 de la vinya..	61
Figura 41: Correlació entre les altures d'escaneig d'1,3 m i 13 m per les amplades (a), alçades (b) i seccions transversals màximes (c) de capçada de les pomeres.	63
Figura 42: Correlació entre les altures d'escaneig de 2,5 m i 13 m per les amplades (a), alçades (b) i seccions transversals màximes (c) de capçada de les pomeres. .	64
Figura 43: Correlació entre les altures d'escaneig d'1,3 m i 11 m per les amplades (a), alçades (b) i seccions transversals màximes (c) de capçada de la vinya.	65
Figura 44: Correlació entre les altures d'escaneig de 2,5 m i 11 m per les amplades (a), alçades (b) i seccions transversals màximes (c) de capçada de la vinya.	66
Figura 45: Comparativa de les amplades màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.	71
Figura 46: Comparativa de les alçades màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.	72
Figura 47: Comparativa de les seccions transversals màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.....	72
Figura 48: Comparativa dels volums màxims de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.	73
Figura 49: Comparativa de les amplades màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.	74
Figura 50: Comparativa de les alçades màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.	74
Figura 51: Comparativa de les seccions transversals màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.....	75
Figura 52: Comparativa dels volums màxims de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.....	75

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Característiques del sensor UTM30-LX-EW.	14
Taula 2: Coordenades de l'antena de la base RTK.	15
Taula 3: Exemple d'un arxiu d'un núvol de punts 3D processat amb MATLAB.	22
Taula 4: Relació entre el camp escalar "NÚVOL" i el núvol de punts al que fa referència.	27
Taula 5: Significat de cada coordenada.	31
Taula 6: Velocitats teòriques d'avanç en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	35
Taula 7: Comparació de mitjanes de l'amplada màxima de capçada en pomeres.	41
Taula 8: Comparació de mitjanes de l'amplada percentil 90 de capçada en pomeres.	42
Taula 9: Comparació de mitjanes de l'alçada màxima de capçada en pomeres.	43
Taula 10: Comparació de mitjanes de l'alçada percentil 90 de capçada en pomeres.	44
Taula 11: Comparació de mitjanes de la secció transversal <i>CHULL</i> de capçada en pomeres.	46
Taula 12: Comparació de mitjanes de la secció transversal màxima de capçada en pomeres.	47
Taula 13: Comparació de mitjanes de la secció transversal percentil 90 de capçada en pomeres.	47
Taula 14: Comparació de mitjanes del volum màxim de capçada en pomeres.	50
Taula 15: Comparació de mitjanes del volum percentil 90 de capçada en pomeres.	50
Taula 16: Comparació de mitjanes de l'amplada màxima de capçada en vinya.	52
Taula 17: Comparació de mitjanes de l'amplada percentil 90 de capçada en vinya.	52
Taula 18: Comparació de mitjanes de l'alçada màxima de capçada en vinya.	54
Taula 19: Comparació de mitjanes de l'alçada percentil 90 de capçada en vinya.	55
Taula 20: Comparació de mitjanes de la secció transversal <i>CHULL</i> de capçada en vinya.	58
Taula 21: Comparació de mitjanes de la secció transversal màxima de capçada en vinya.	58

Taula 22: Comparació de mitjanes de la secció transversal percentil 90 de capçada en vinya.....	59
Taula 23: Comparació de mitjanes del volum màxim de capçada en vinya.	60
Taula 24: Comparació de mitjanes del volum percentil 90 de capçada en vinya....	61
Taula 25: Comparació de les amplades màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	67
Taula 26: Comparació de les alçades màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	68
Taula 27: Comparació de les seccions transversals màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	68
Taula 28: Comparació de les amplades màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	69
Taula 29: Comparació de les alçades màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	69
Taula 30: Comparació de les seccions transversals màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.....	70
Taula 31: Pagament d'inversió inicial per l'escaneig terrestre.	79
Taula 32: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de pomers.	79
Taula 33: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de vinya.....	80
Taula 34: Valoració econòmica per a l'escaneig terrestre (€).....	81
Taula 35: Pagament d'inversió inicial per l'escaneig aeri.	82
Taula 36: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de pomers i de vinya.	82
Taula 37: Valoració econòmica per a l'escaneig aeri (€).	83

1. INTRODUCCIÓ

A Catalunya, l'any 2016 (darreres dades actualitzades), els cultius de fruita fresca van representar un 15% de la producció i un 13,7% de la superfície agrícola. Lleida va ser la principal província productora, assolint un 80% respecte al total. Per altra banda, el cultiu de la vinya va obtenir la quarta posició, tant en producció (6,9%) com en superfície agrícola (7,8%). En aquest cas, les principals províncies productores van ser Barcelona (42,5%) i Tarragona (45,5%).

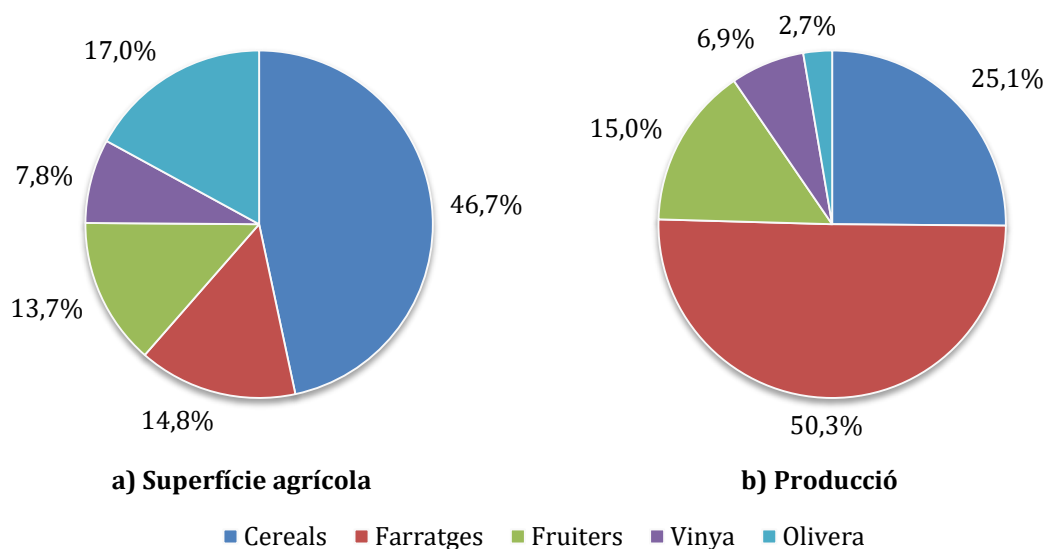


Figura 1: Gràfic representatiu de la superfície agrícola **(a)** ocupada pels cultius a Catalunya l'any 2016 i de la seva producció **(b)**. Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

Les plantacions d'arbres fruiters i de vinya, cultius amb els quals s'ha treballat en aquest treball experimental, presenten un especial interès des del punt de vista productiu. No obstant, els costos de producció elevats i les baixes quotes de mercat afecten negativament aquest àmbit del sector primari. Per aquest motiu, els agricultors mostren la necessitat d'optimitzar els recursos i augmentar-ne l'eficiència.

La geometria (forma, amplada, alçada i volum) i l'estructura (sistema de formació, Índex d'àrea foliar i densitat de fulla) de cada arbre defineixen un conjunt de paràmetres que estan estretament relacionats amb les necessitats nutritives i hídriques del cultiu. Així doncs, si l'agricultor és capaç d'adaptar el maneig a cada

fase del cultiu, augmenta la possibilitat d'incrementar el rendiment de la seva explotació fructícola i millorar-ne la qualitat dels fruits.

Donada la problemàtica del sector, s'han desenvolupat diferents mètodes per tal de caracteritzar les plantacions i facilitar la presa de decisions de maneig a curt i/o a llarg termini. L'eix metodològic gira entorn a la caracterització dels cultius, mitjançant sensors o composicions de fotografies, per tal de dur a terme un control de la seva resposta a activitats com per exemple la poda, el reg i l'aplicació de fertilitzants i de productes fitosanitaris (principalment utilitzats per controlar o eliminar plagues i/o malalties).

A més a més, si es coneixen paràmetres geomètrics i estructurals de cada arbre (Rosell, J. R. *et al.*, 2009), s'obre la possibilitat d'introduir el concepte d'aplicacions de dosi variable adaptant-les a les diferents zones de maneig definides a partir de la variabilitat espacial del sòl o de les plantes (Escolà, A. *et al.*, 2007). Aquest fet, doncs, permetria disminuir l'impacte ambiental de l'activitat agrícola i aconseguir una millora dels sistemes agraris fent-los més eficients i sostenibles.

Durant els darrers anys, el desenvolupament de sistemes basats en sensors LiDAR (light detection and ranging) està tenint una especial importància en la caracterització d'arbres fruiters i de vinya. Aquests sistemes són utilitzats per a obtenir valors rellevants del cultiu com el volum de la seva capçada o l'índex d'àrea foliar (LAI) (Arnó, J. *et al.*, 2013), ja esmentats anteriorment.

Enfront aquesta necessitat, el 23 de juliol del 2015 el Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió (GRAP) va dur a terme un assaig de camp en una parcel·la de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària on hi ha arbres fruiters (pomers) i vinya. Les dades que es van obtenir s'analitzaran en aquest treball i s'utilitzaran per verificar si el sistema emprat funciona correctament.

L'assaig va consistir a utilitzar un sistema Mobile terrestrial laser scanner (MTLS) basat en un sensor LiDAR (Escolà, A. *et al.*, 2015) per a escanejar a diferents alçades, un tram de 10 m de filera de cada una d'aquestes dues espècies.

Aquest treball experimental consisteix a calcular les alçades, amplades i volums de vegetació per cada una de les alçades d'escaneig i fer un estudi estadístic. L'objectiu és determinar si l'estudi estadístic de les dades obtingudes per a cada alçada d'escaneig (via terrestre i via aèria) dóna uns valors d'amplada, alçada i volum semblants o bé si existeixen diferències significatives.

A més a més, aquest treball es pot emmarcar dins del camp de l'Agricultura de Precisió amb la finalitat que els agricultors puguin augmentar el rendiment de la seva explotació, gràcies a una millor gestió dels *inputs* i augmentar la rendibilitat anual de l'explotació. Això es podria aconseguir establint zones de maneig diferencial a la parcel·la a partir dels paràmetres obtinguts mitjançant el sensor LiDAR i adequant les activitats de maneig que condicionen el cultiu.

Finalment, la part econòmica del treball es basa a comparar els costos d'escaneig terrestre i aeri utilitzant per a determinar quant hauria de cobrar per unitat de superfície escanejada una empresa que oferís aquest tipus de servei.

2. OBJECTIUS

En aquest treball no es disposa d'un valor veritat terreny de referència però sí que es té experiència amb el sistema de mesura MTLs. D'aquesta manera, es formula com a hipòtesi de partida que els resultats dels escanejos terrestres són més exactes que els aeris. Així doncs, es pretén aconseguir els següents objectius:

- a. Determinar si l'estudi estadístic de les dades obtingudes des de diferents alçades d'escaneig dona uns valors d'amplada, alçada i volum de vegetació semblants dels arbres fruiters i de la vinya..
- b. Establir l'alçada òptima de treball (terrestre o aeri) del sistema.
- c. Determinar quina és la resolució òptima d'escaneig (separació entre escanejos consecutius).
- d. Comparar costos entre escaneig terrestre i escaneig aeri i determinar quin és el preu per unitat de superfície que hauria de cobrar una empresa de serveis.

3. MATERIAL I MÈTODES

3.1. DESCRIPCIÓ DEL SISTEMA D'ESCANEIG

Per a l'adquisició de les dades i la subsegüent caracterització dels arbres fruiters i de la vinya es va utilitzar escàner làser terrestre mòbil (mobile terrestrial laser scanner, MTLS) basat en un sensor LiDAR que incloïa un receptor d'un sistema satel·litari de posicionament global (GNSS) per a georeferenciar els valors obtinguts. El sistema també constava d'un ordinador portàtil de camp que enregistrava totes les dades de forma sincronitzada. Aquest conjunt de components es van muntar sobre una plataforma elevadora per a poder aconseguir dades en moviment i a les alçades d'anàlisi desitjades per a cada cultiu.

En els següents apartats es mostra una descripció detallada dels diferents materials utilitzats.

3.1.1. SENSOR LiDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)

El sensor LiDAR és un dispositiu òptic capaç de mesurar la distància a objectes emetent un raig polsat de llum infraroja. Quan aquest raig impacta en un objecte una part es reflectida i detectada pel receptor del sensor.

El principi de funcionament del sensor LiDAR utilitzat es basa en calcular el temps entre l'instant d'emissió i el moment de retorn del raig en qüestió (time-of-flight). Així doncs, el temps transcorregut entre els dos instants permet determinar quina és la distància entre el sensor i l'objecte d'interès.

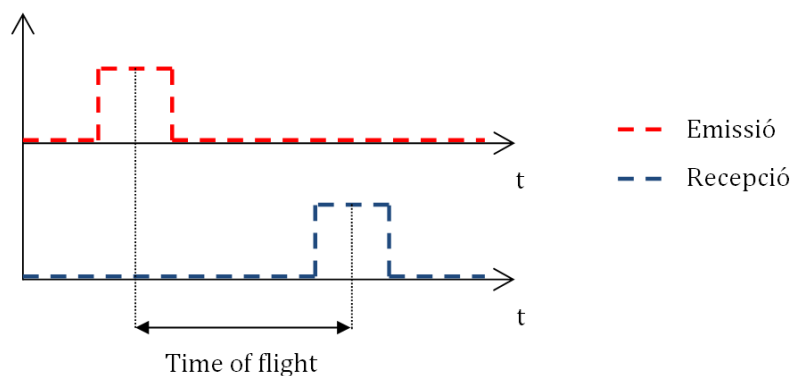


Figura 2: Principi de funcionament d'un sensor LiDAR *time-of-flight*.

En l'assaig de camp dut a terme pel GRAP es va utilitzar el sensor UTM30-LX-EW de la marca HOKUYO amb un rang de mesura de 30 m. Aquest sensor realitza 40 escanejos per segon (40 Hz) i és capaç de rebre fins a tres senyals de retorn.



Figura 3: Sensor LiDAR HOKUYO UTM30-LX-EW.

Durant l'emissió es defleix el raig infraroig mitjançant un mirall giratori situat a l'interior del sensor permetent, així, un escaneig 2D de la vegetació amb un rang angular de 270° al voltant del sensor amb una zona cega de 90° que situarem cap amunt on no serà capaç d'aportar informació. La resolució angular es configura a $0,25^\circ$. Així doncs, per a cada escaneig s'obtenen 1081 dades de distància (Figura 4).

Cada punt obtingut en l'escaneig estarà referenciat en coordenades polars agafant com a origen de coordenades el centre òptic del sensor LiDAR. Per a construir el núvol de punts tridimensional, serà necessari, doncs, determinar quines són les coordenades absolutes de cada punt. Aquesta informació s'obtindrà a partir de les dades del sistema satel·litari de navegació global (GNSS).

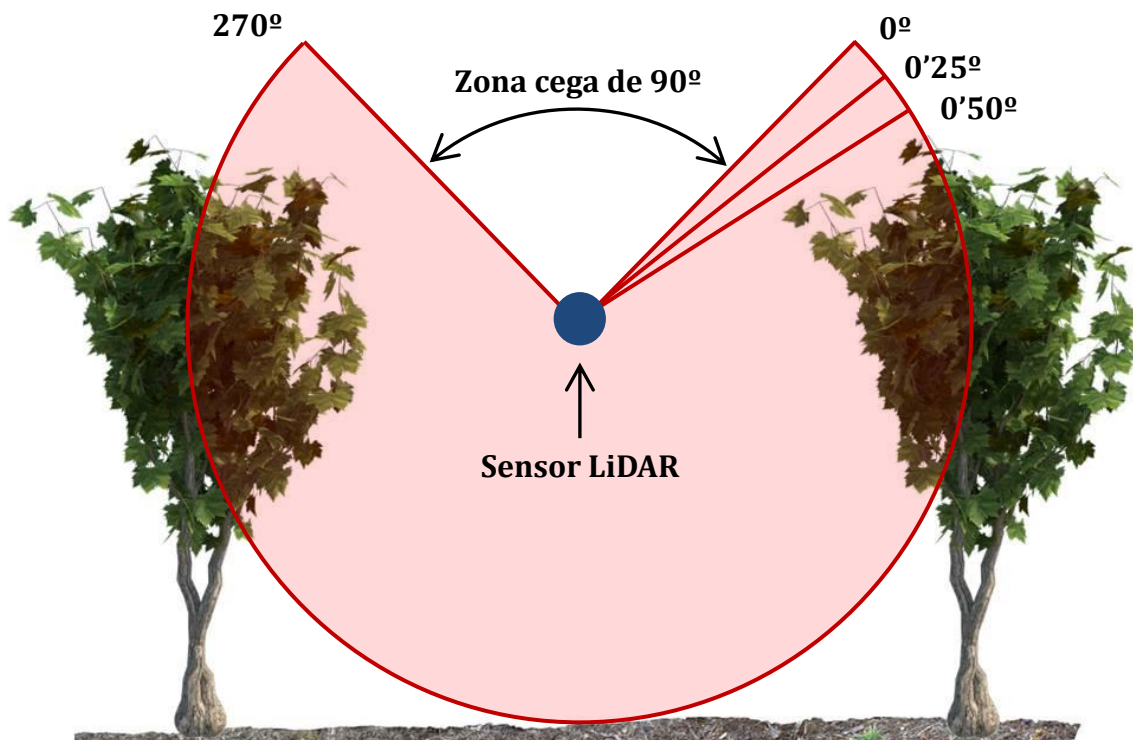


Figura 4: Rang angular de lectures del sensor LiDAR HOKUYO UTM30-LX-EW.

La Taula 1 mostra les característiques tècniques del sensor UTM30-LX-EW aportades pel fabricant.

Taula 1: Característiques del sensor UTM30-LX-EW.

Longitud d'ona de la llum emesa (λ):	905 nm.
Principi de funcionament:	<i>Time-of-Flight.</i>
Rang de mesura:	Fins a 30 m.
Rang angular:	270°.
Resolució angular:	0,25°.
Velocitat d'escaneig:	25 ms/cicle.
Error:	0,1 a 10m: ± 30 mm. 10 a 30m: ± 50 mm.
Font d'alimentació:	12V DC $\pm 10\%$.
Pes:	210 g.
Material exterior:	Policarbonat.
Dimensions exteriors:	62 mm x 62 mm x 87'5 mm.

3.1.2. GEOREFERENCIACIÓ DE DADES

Per dur a terme la georeferenciació de les lectures del sensor LiDAR es va decidir utilitzar un equip de la marca Leica i model GX 1230 de doble freqüència (L1 i L2) capaç de rebre senyals dels sistemes satel·litaris GPS (Global Positioning System) i GLONASS (sistema de posicionament global rus).

Aquest equip utilitza una correcció de tipus terrestre anomenada RTK (Real-Time Kinematics). Aquesta es duu a terme mitjançant la utilització de dos receptors. Un d'ells és fix i es troba estacionat en un punt amb coordenades conegudes, anomenat base (Taula 2) i l'altre, anomenat rover, instal·lat a la plataforma elevadora i a una alçada determinada respecte al centre del sensor. L'error del sistema de posicionament és d'entre 1 i 2 cm.

Taula 2: Coordenades de l'antena de la base RTK.

X	299.763,818 m
Y	4.611.430,818 m
Z	202,546 m
ETRS89 31T UTM	

La distància entre l'antena del rover i el sensor va ser de 20 cm o 120 cm segons l'assaig que es feia, tal com es mostra a la Figura 5.

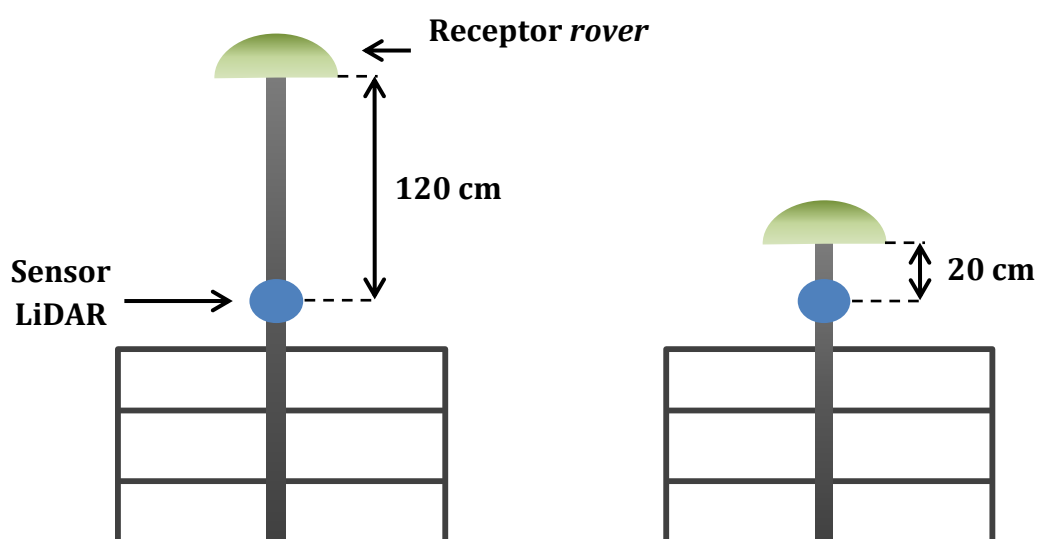


Figura 5: Configuració del sistema d'adquisició de dades a la cistella de la plataforma elevadora.

El receptor es va connectar a l'ordinador portàtil mitjançant el port sèrie RS232 funcionant a una freqüència de 20 Hz amb la velocitat de comunicació del port sèrie de 115200 bps. Aquest fet, doncs, provoca que aproximadament per cada lectura del receptor GNSS-RTK s'obtenen dues lectures del sensor LiDAR (40 Hz). S'haurà de fer un procés d'interpolació posterior a la presa de dades de camp per definir les coordenades absolutes de cada lectura i construir, així, un núvol de punts georeferenciat a l'espai.



Figura 6: Equip Leica Model GX1230 utilitzat com a base per a la correcció RTK.

3.1.3. SISTEMA D'ADQUISICIÓ DE DADES

Per tal d'emmagatzemar i unir la informació aportada pel sensor LiDAR i pel sistema de posicionament, es va utilitzar un ordinador portàtil de camp de la marca Getac (Figura 7). En aquest, es va executar un programa desenvolupat amb el llenguatge gràfic LabVIEW (National Instruments, Austin, TX, USA) pels components del GRAP.



Figura 7: Ordinador Getac utilitzat per a adquirir les dades de camp.

La transferència de lectures del sensor LiDAR es va dur a terme mitjançant el port *RJ-45 (Ethernet)* de l'ordinador i l'adquisició del receptor GNSS mitjançant el port de comunicacions sèrie RS-232.

3.1.4. PLATAFORMA ELEVADORA

Per facilitar l'adquisició de dades en moviment i les diferents alçades d'escaneig es va utilitzar una plataforma elevadora (Figura 8) la qual avançava a una velocitat constant. A la seva cistella s'hi va instal·lar el sistema d'escaneig que s'ha detallat a l'apartat anterior.

La idea era simular el comportament d'un tractor (per a les alçades d'escaneig més baixes) i el d'un dron (per a les alçades d'escaneig més elevades).



Figura 8: Plataforma elevadora de la casa comercial *Manitou*.

A la Figura 9 es mostra la interacció entre els diferents materials que es van utilitzar durant l'assaig de camp.



Figura 9: Interacció entre els diferents sistemes utilitzats.

3.2. ADQUISICIÓ DE LES DADES

L'assaig es va dur a terme a una parcel·la de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària on hi ha una plantació d'arbres fruiters (pomers) i de vinya. Es va escanejar un tram de vegetació de 10,5 m pel cas dels pomers i de 9 m pel de la vinya (Fila 1, vinya, i 6, pomera; Figura 10) mitjançant el sistema d'escaneig mòbil terrestre explicat en aquest treball.

El protocol que es va desenvolupar per l'adquisició de les dades consistí en escanejar una filera de vinya i una de pomers a una velocitat constant de $0,671 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ des del centre del carrer adjacent dret, des del centre del carrer adjacent esquerre i, en les alçades més altes, des de sobre de la fila.

Les alçades d'escaneig que es van utilitzar van ser:

➤ Pomers

- Des del centre dels carrers dret i esquerre: 1,3 m; 1,9 m; 2,5 m; 5 m; 9 m i 13 m.
- Des de sobre la fila: 5 m; 9 m i 13 m.

➤ Vinya

- Des del centre dels carrers dret i esquerre: 1,3 m; 1,9 m; 2,5 m; 3,1 m; 7 m i 11 m.
- Des de sobre la fila: 7 m i 11 m.



Figura 10: Parcel·la de l'ETSEA on es va dur a terme l'assaig (Font: Google Earth ®)

Coordenades X = 299.848,62 m i Y = 4.611.435,03 m UTM31T/ETRS89.

Es duu a terme una classificació segons les alçades d'escaneig. Així doncs, s'entén com a escaneig terrestre aquell que es realitza des d'una alçada d'1,3 m fins a 3,1 m i com aeri el que compren les alçades des de 5 m fins a 13 m.

Cal destacar que tant pels pomers com per la vinya s'adopta com a referència l'alçada de 2,5 m. Es creu que pot ser una posició representativa perquè el sensor no es troba ni molt proper a la superfície ni molt elevat.

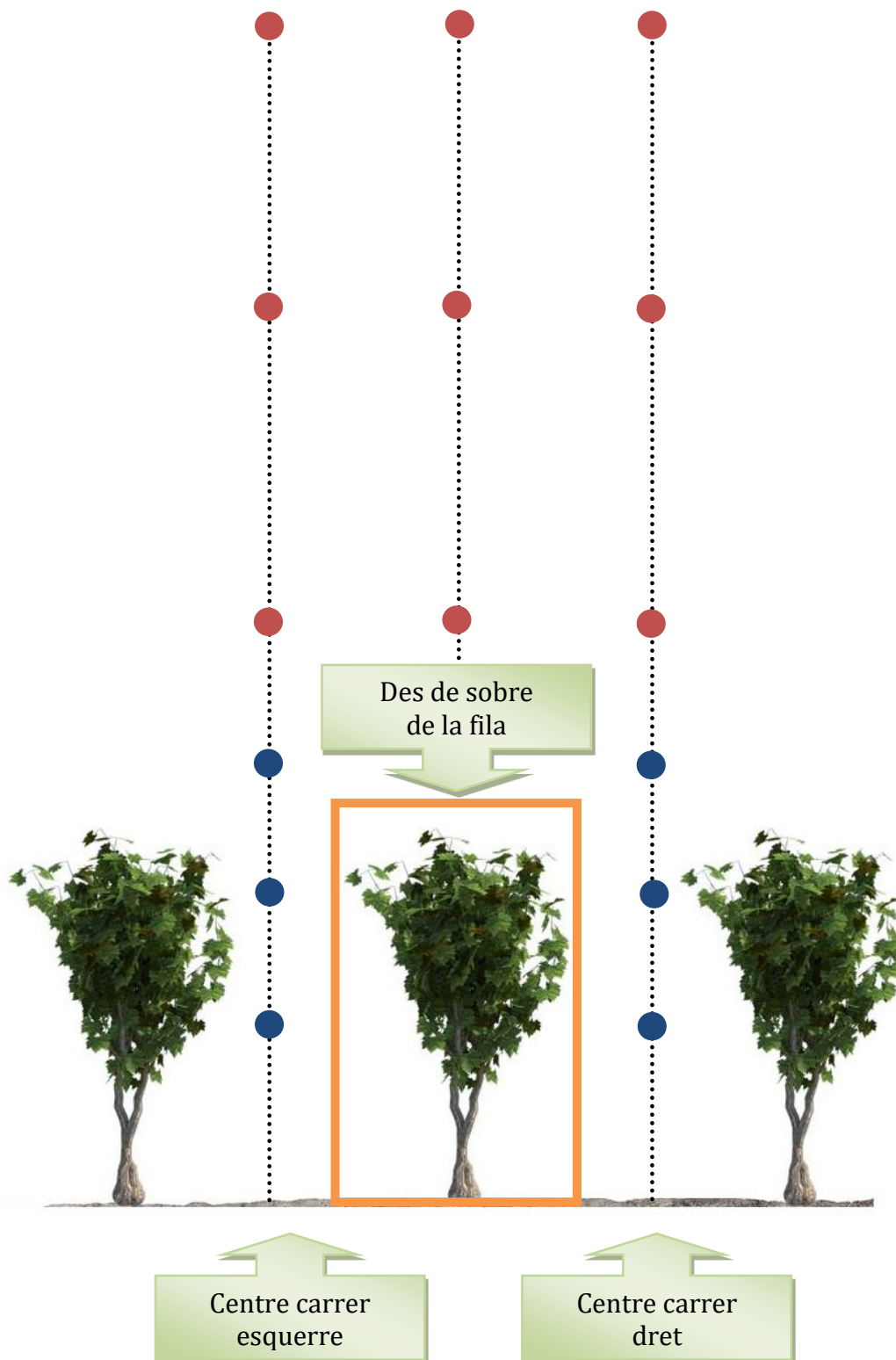


Figura 11: Representació de la filera escanejada (centre) i de les dues adjacents amb les posicions d'escaneig terrestres (punt blau) i aèries (punt vermell).

No s'ha dut a terme l'anàlisi de les dades procedents dels escanejors de just sobre la fila. Aquest fet es deu a que es dona una excessiva pèrdua d'informació dels laterals

de la capçada degut a la posició elevada del sensor sobre l'eix de la fila, veure Figura 12. Per tal de poder obtenir informació dels laterals de la capçada només s'han tingut en compte els escanejos realitzats sobre la vertical del centre dels carrers adjacents.

a) Pomers

b) Vinya

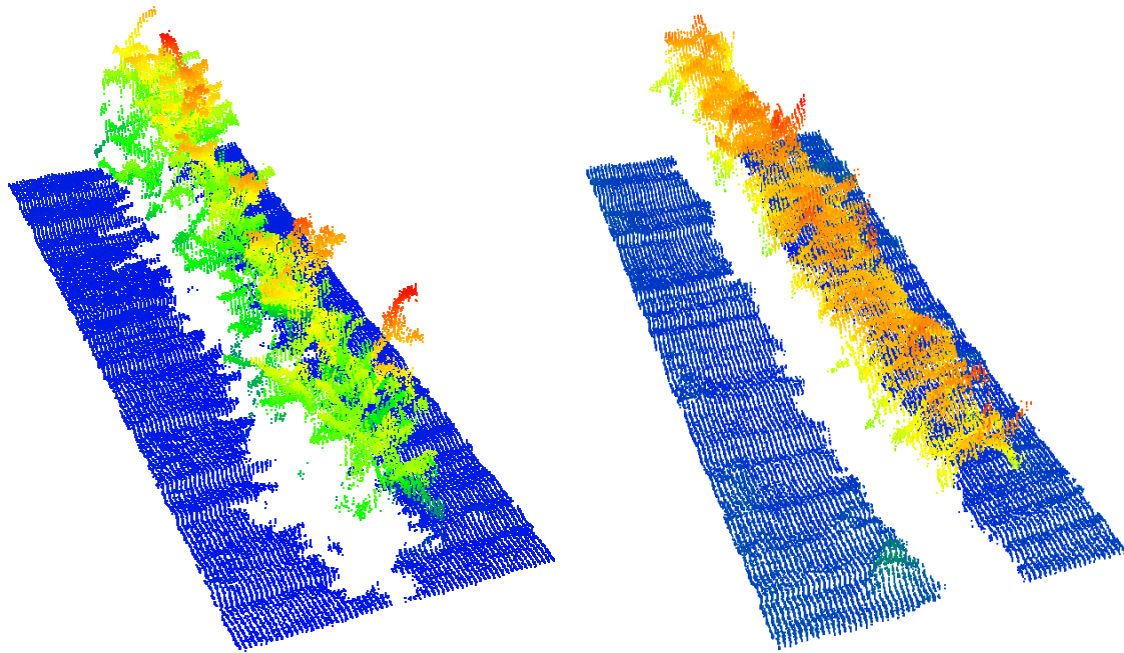


Figura 12: Fila de pomers escanejada per sobre la fila a 13 m **(a)** i de vinya escanejada per sobre la fila a 11 m **(b)**.

3.3. ANÀLISI I MANEIG DE LES DADES

Un cop s'havien escanejat les dues fileres d'interès (pomera i vinya) a les alçades corresponents, les dades obtingudes directament del camp van haver de passar per un processament de georeferenciació i de sincronització amb les dades del GPS per a generar el núvol de punts 3D i un posterior tractament per a extreure la informació desitjada (alçada, amplada i volum de capçada).

En primer lloc, el processament de les dades tant per a la fila de pomers com per a la de vinya es va realitzar mitjançant un programa elaborat amb el software MATLAB (MathWorks, Natick, Massachusetts, USA) desenvolupat pel GRAP. El procés va consistir a assignar les coordenades absolutes del sistema de posicionament a cada lectura del sensor. Coneixent en tot moment quines eren les

coordenades polars de les lectures respecte del centre òptic del sensor LiDAR i la posició exacta d'aquest (ja amb coordenades absolutes) amb un Δz (distància entre sensor i antena *rover*) conegut (20 cm per a l'alçada d'1,3 m i 120 cm per a la resta d'alçades), es va poder determinar quina era la posició de les lectures de camp.

Com a resultat d'aquesta operació es van obtenir dos arxius de text (.txt). El primer contenia les coordenades X, Y i Z de cada punt i el segon disposava d'informació addicional. Per exemple, el número del carrer, la distància radial, la distància en projecció horitzontal i el número d'escaneig al que pertanyia cada punt (Taula 3). És convenient destacar que en aquests dos arxius es va treballar a partir de l'escaneig número 23 (des de l'inici) per tal d'eliminar possibles errors a causa de l'acceleració del vehicle.

Taula 3: Exemple d'un arxiu d'un núvol de punts 3D processat amb MATLAB.

Xutm	Yutm	Zutm	CARRER	SCAN	ANGLE	DISTANCIA_RADIAL	DIST_PROJ_HORIZ
299850,2382	4611425,077	189,5208	0	23	137,75	2,105	-1,5582
299850,2373	4611425,078	189,5093	0	23	138	2,098	-1,5591
299850,2406	4611425,077	189,4939	0	23	138,25	2,085	-1,5555
299850,2406	4611425,077	189,4818	0	23	138,5	2,077	-1,5556
299850,2309	4611425,08	189,4548	0	23	139,25	2,067	-1,5659
299850,234	4611425,079	189,4401	0	23	139,5	2,055	-1,5626
299849,9161	4611425,198	189,7156	0	23	139,75	2,492	-1,902
299849,8658	4611425,217	189,7465	0	23	140	2,553	-1,9557
299849,88	4611425,211	189,7194	0	23	140,25	2,524	-1,9406
299849,8582	4611425,219	189,7243	0	23	140,5	2,545	-1,9638
299849,8784	4611425,212	189,6923	0	23	140,75	2,508	-1,9422
299849,9091	4611425,2	189,6517	0	23	141	2,457	-1,9094
299849,9276	4611425,193	189,6221	0	23	141,25	2,423	-1,8897
299849,8613	4611425,218	189,6649	0	23	141,5	2,505	-1,9604
299849,8513	4611425,222	189,6594	0	23	141,75	2,51	-1,9711
299850,8282	4611424,857	188,8307	0	23	142	1,178	-0,9283
299850,8142	4611424,862	188,8359	0	23	142,25	1,193	-0,9433
299849,8502	4611425,222	189,6189	0	23	142,5	2,486	-1,9723
299849,8433	4611425,225	189,6109	0	23	142,75	2,487	-1,9797
299849,8836	4611425,21	189,5649	0	23	143	2,425	-1,9367
299849,9122	4611425,199	189,5289	0	23	143,25	2,379	-1,9062
299849,9139	4611425,199	189,5146	0	23	143,5	2,369	-1,9043
299849,8832	4611425,21	189,5258	0	23	143,75	2,402	-1,9371
299849,8903	4611425,207	189,5074	0	23	144	2,385	-1,9295
299849,9637	4611425,18	189,4382	0	23	144,25	2,281	-1,8512
299850,2351	4611425,079	189,2193	0	23	144,5	1,918	-1,5615
299850,2412	4611425,076	189,2044	0	23	144,75	1,904	-1,5549
299850,1807	4611425,099	189,2395	0	23	145	1,977	-1,6195

Per a dur a terme la visualització i el maneig dels núvols de punts es va optar per utilitzar el programari lliure CloudCompare v2.9.0 (Daniel Girardeau-Montaut,

París, França) per a realitzar el posterior càlcul d'amplades, alçades i volums explicat a l'apartat 3.2.1. En aquesta etapa es van preparar les composicions de núvols de punts.

En primer lloc es van importar els arxius de text generats pel programa de MATLAB i es va revisar que els núvols de punts estiguessin orientats correctament. La seva orientació varia segons el sentit d'avanç (direcció nord o bé direcció sud) de la plataforma que contenia el sistema LiDAR. Si això passava, el núvol de punts en qüestió, s'havia de tornar a processar. Per facilitar aquesta tasca va ser de gran utilitat situar algun objecte conegut a l'hora de realitzar els escanejos. En aquest treball es va utilitzar una carpa de tela situada entre les fileres 3 i 4 de la parcel·la (Figura 13).

Seguidament es va extreure la coordenada Z (respecte al nivell del mar) i es va fer servir com un camp escalar per a donar color als núvols de punts. Això va ajudar a donar una idea visual de l'alçada en què es trobaven els punts procedents del primer rebot en la fase d'adquisició de dades. Tal com es mostra a la Figura 13, els punts es van representar seguint l'escala de colors blau, verd, groc i vermell essent de color blau els de cota més baixa (coincidint en aquest cas amb la capa de vegetació dels carrers) i de color vermell els de cota més alta.

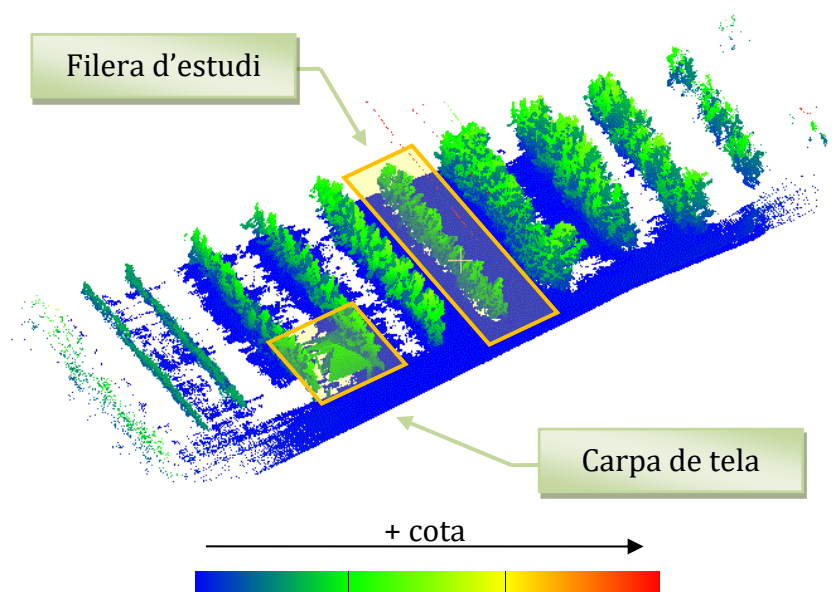
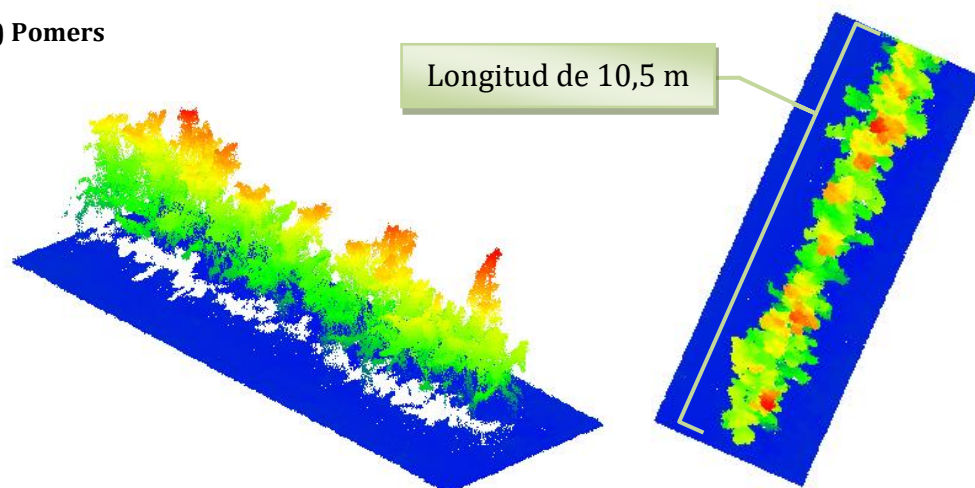


Figura 13: Núvol de punts 3D dels arbres fruiters escanejats a una alçada de 5 m des del centre del carrer dret i esquerra adjacents a la filera d'estudi.

A continuació, es van unir els núvols de punts corresponents als dos costats de la mateixa alçada d'escaneig mitjançant l'eina *Merge Multiple Clouds*. Per totes les alçades d'escaneig la composició va estar formada a partir dels escanejos realitzats des del centre del carrer dret i des del centre del carrer esquerre.

Després, per a cada núvol de punts es va retallar la fila d'interès i es van eliminar les zones que no aportaven informació a l'anàlisi. També va ser necessari retallar les files a la mateixa longitud per tal de poder comparar els resultats i determinar si els paràmetres d'estudi coincidien per les diferents alçades estudiades. Per fer aquesta operació es van utilitzar les eines *Segment* i *Cross Section* del programa CloudCompare. Per la pomera es van retallar 10,5 m lineals i per la vinya 9 m (Figura 14).

a) Pomers



b) Vinya

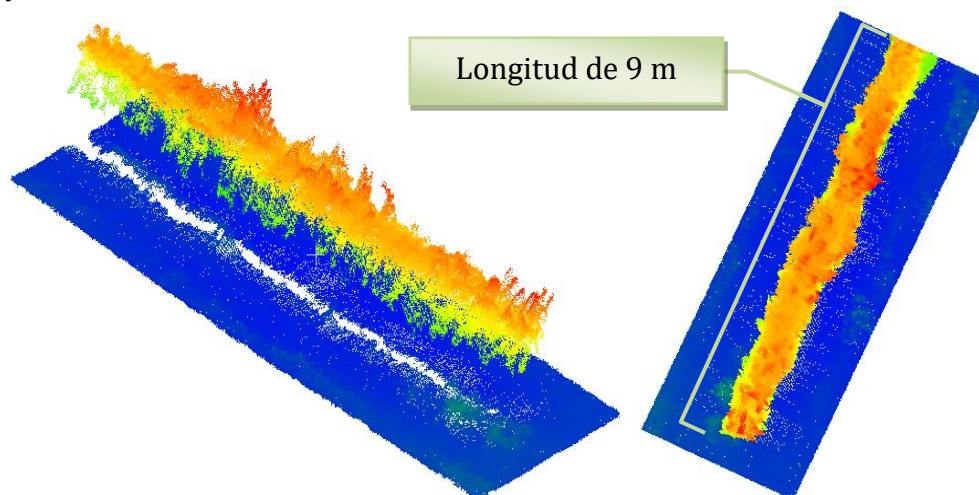


Figura 14: Fileres de pomers **(a)** i de vinya **(b)** retallades amb les eines *Segment* i *Cross Section*.

Per tal de determinar quina era l'alçada, l'amplada i el volum de la vegetació del tram de fila estudiat es va haver de determinar quina era la cota de cada punt respecte el nivell del terra. Per a aconseguir aquest paràmetre es va crear una superfície *raster 2D* quadrada de 0,5 m de costat en el pla X-Y i es va analitzar la cota (Z) dels punts de cada cel·la. Es va suposar que el punt de cota mínima de cada cel·la eren punts que estaven sobre la superfície del sòl.

Posteriorment es va duu a terme una triangulació dels punts de cota mínima mitjançant l'eina *Delaunay 2.5D (best fitting plane)*, que va conformar la superfície del sòl (Figura 15).

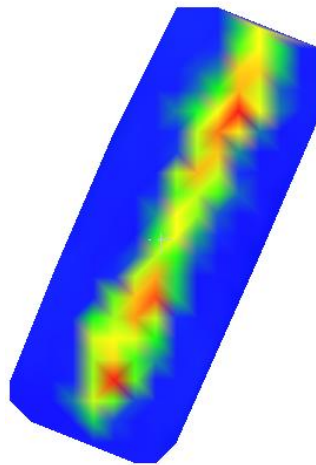


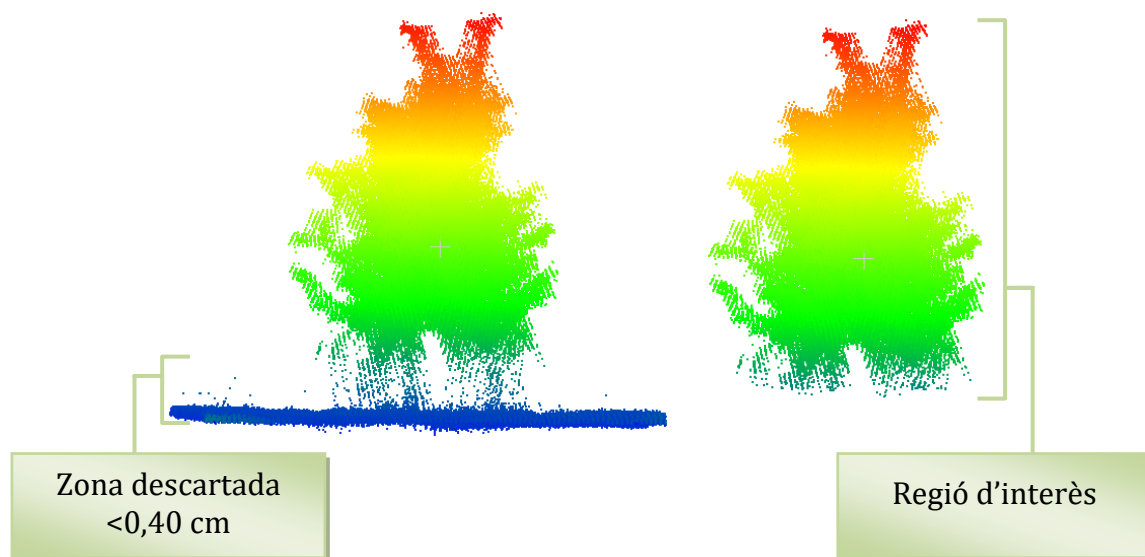
Figura 15: Superfície *raster* corresponent a la superfície del sòl obtinguda per triangulació de punts de cota mínima des d'una alçada d'escaneig de 13 m pel cultiu de poma.

Per finalitzar el procés es va calcular la distància entre la superfície de triangles i cadascun dels punts del núvol. Com a resultat d'aquesta operació es va obtenir un nou escalar que era l'alçada de cada punt respecte a la malla o, el que és el mateix, respecte de la superfície del sòl.

Per a fer l'anàlisi del volum de vegetació del cultiu, es va haver de definir una regió d'interès que descartés la coberta vegetal dels carrers i el tram inicial de tronc. Així doncs, després d'unes mesures de camp, només es van tenir en compte els punts que estiguessin per sobre de 40 cm respecte a terra en el cas de la pomera i de 60 cm en el cas de la vinya (Figura 16).

Es va generar, com a resultat, un arxiu de text ASCII amb una precisió de coordenades de quatre dígits i una precisió del camp escalar de tres. Aquest arxiu contenia la informació procedent del *software* MATLAB i dues columnes noves. Una d'elles era el camp escalar “coordenada Z” i l'altra feia referència a la cota de cada punt respecte a la superfície del sòl (anomenat “Altura”).

a) Pomers



b) Vinya

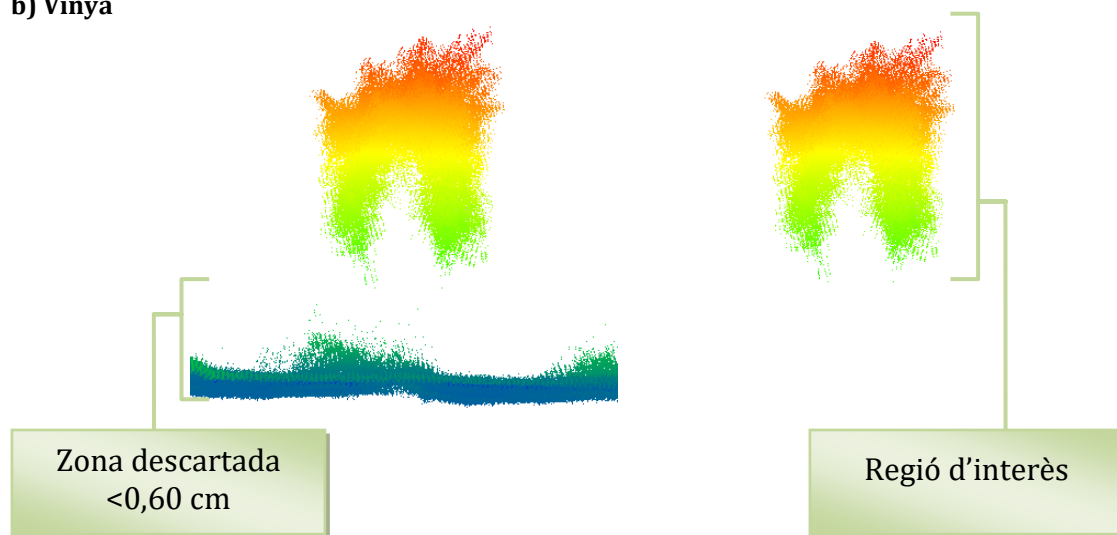


Figura 16: Vistes frontals de la fileres de pomers **(a)** i vinya **(b)** sense filtrar i descartant el tram inicial de tronc i la coberta vegetal.

Per tal de facilitar el càlcul dels paràmetres d'estudi es van unir les composicions dels núvols de punts amb l'eina “*Merge multiple clouds*”. Es va obtenir un nou

escalar el qual s'anomenava "NÚVOL". El valor d'aquest camp feia referència a cada un dels núvols de punts presentats a la Taula 4. Aquesta operació es va repetir tant als pomers com a la vinya.

Taula 4: Relació entre el camp escalar "NÚVOL" i el núvol de punts al que fa referència.

Valor del camp escalar "NÚVOL"	Núvol de punts corresponent
LiDAR POMERS	
0	Centre carrer dreta i esquerra a 1,3 m.
1	Centre carrer dreta i esquerra a 1,9 m.
2	Centre carrer dreta i esquerra a 2,5 m.
3	Centre carrer dreta i esquerra a 5 m.
4	Centre carrer dreta i esquerra a 9 m.
5	Centre carrer dreta i esquerra a 13 m.
LiDAR VINYA	
0	Centre carrer dreta i esquerra a 1,3 m.
1	Centre carrer dreta i esquerra a 1,9 m.
2	Centre carrer dreta i esquerra a 2,5 m.
3	Centre carrer dreta i esquerra a 3,1 m.
4	Centre carrer dreta i esquerra a 7 m.
5	Centre carrer dreta i esquerra a 11 m.

3.3.1. CÀLCUL DE VOLUMS, AMPLADES I ALÇADES

L'anàlisi de les dades, un cop tractades i seleccionades les de major interès per aquest treball, es va duu a terme mitjançant un codi (veure Annex: *LiDAR Point Cloud Analysis v.3.9*) elaborat amb la plataforma RStudio del software R el qual utilitzava el llenguatge de programació RScript. El procés era complex, ja que es necessitava un conjunt de variables i de processos matemàtics per tal d'obtenir resultats coherents.

En aquest treball, no es disposa de cap patró de referència i, per tant, els resultats que es van obtenir en aquest procés no es poden comparar amb els valors reals. En

aquest apartat, doncs, es pretén explicar com funciona el codi d'anàlisi i quin és el mètode de càlcul que es va implementar en aquest assaig de camp.

És necessari destacar que originalment el codi va ser desenvolupat pel Professor Jordi Llorens en anteriors projectes d'investigació. Així doncs, es van duu a terme un conjunt de modificacions per tal d'adaptar-lo al tipus d'anàlisi i càlcul de paràmetres que ha requerit el treball.

El programa es dividia en dues parts diferenciades. En la primera es duia a terme la preparació de les dades, mentre que en la segona s'executava l'anàlisi d'aquestes.

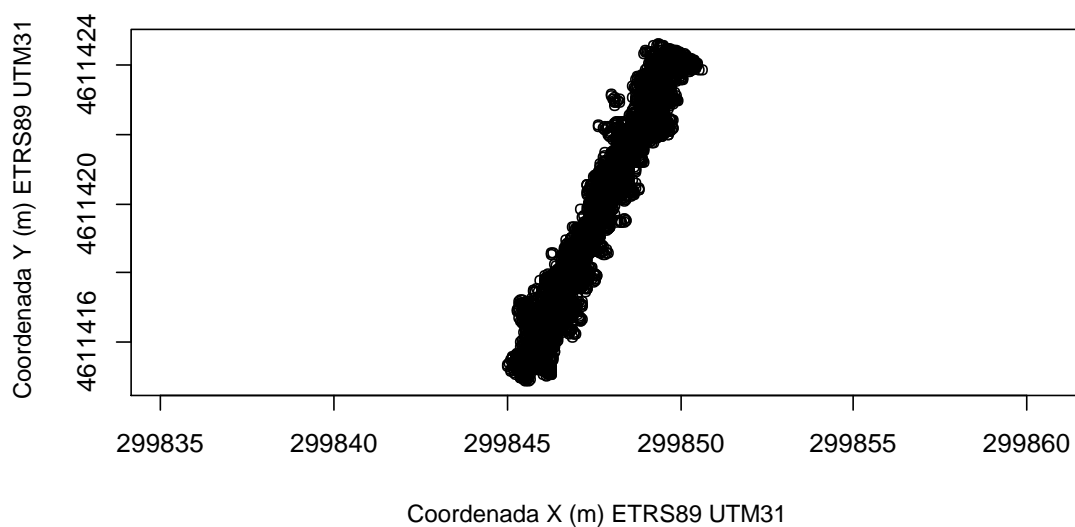
→ **Primera part:**

En primer lloc s'introduïa el nom de l'arxiu *.txt*. Aquest havia de contenir les dades dels diferents núvols de punts de cada una de les espècies. És convenient destacar que el directori on està guardat l'arxiu havia de ser el mateix on es trobava el codi d'anàlisi. Si no era així, el programa no s'executava. Això es va aconseguir utilitzant la funció *"Get Working Directory"*.

Seguidament, calia indicar al programa quin era el caràcter de separació entre els diferents camps que contenia l'arxiu (en el nostre cas, un tabulador, que representava el caràcter *"\t"*), com estaven expressats els nombres decimals (en el nostre cas, amb un punt *"."*) i si existia un encapçalament per a cada una de les columnes (en el nostre aquest cas no, i es va indicar *"FALSE"*). A causa de no contenir aquest darrer paràmetre als arxius de text (poma i vinya) es va desenvolupar una funció que permetia associar per a cada columna (fent referència a cada camp escalar) un encapçalament. Calia tenir cura en indicar el nom correcte de cada columna per no provocar confusions.

A continuació, s'indicava de forma numèrica (utilitzant la Taula 4) al codi de càlcul quina era la fila que es volia analitzar. Un cop es van seleccionar les dades es va fer un gràfic on s'observa l'orientació original del núvol de punts (Figura 17). Posteriorment es van projectar les dades sobre el pla X-Y per tal de facilitar el procés de càlcul.

a) Pomers



b) Vinya

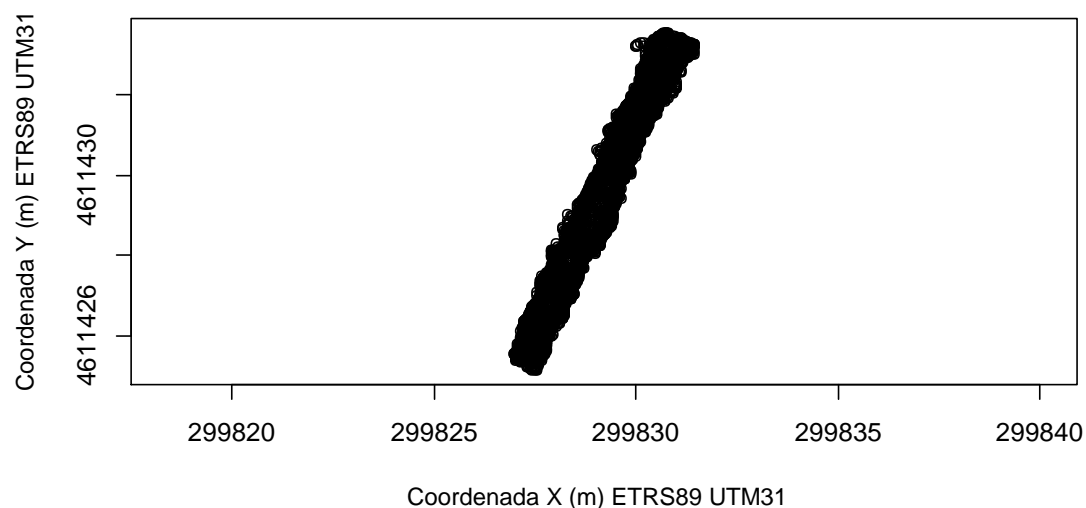
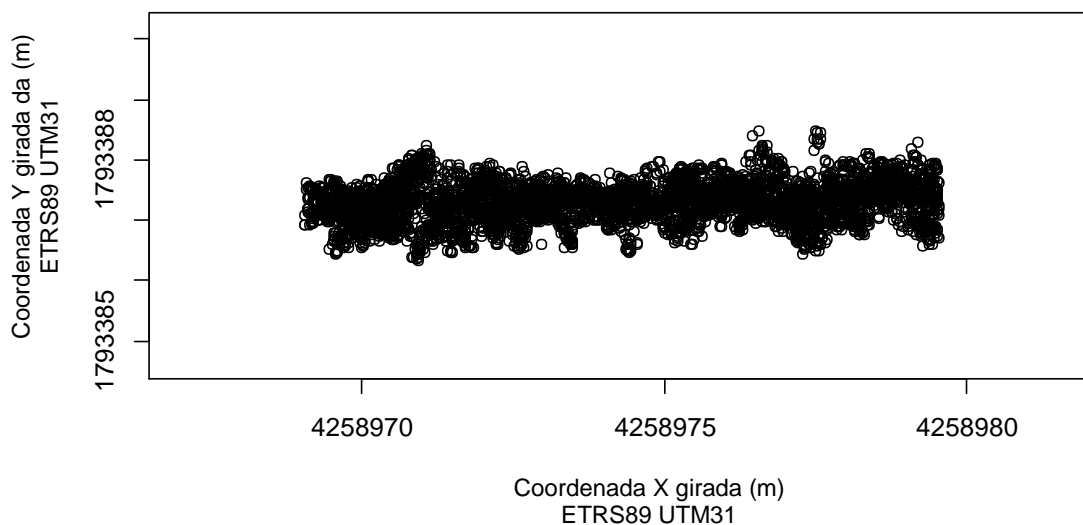


Figura 17: Representació d'un núvol de punts de pomers **(a)** i de vinya **(b)** amb la seva orientació original i projectat sobre el pla X-Y.

Per fer aquesta operació es va definir una funció que permetia girar les files. Va ser necessari definir quin era l'angle α i la distància de cada punt respecte a l'origen de coordenades. Les dades reorientades també es podien representar en un gràfic. Aquesta opció no influïa al procés de càlcul però era interessant i aconsellable per entendre més bé la posterior anàlisi de les dades (Figura 18).

$$\begin{cases} \text{Distància} = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \alpha = \arctan x/y \end{cases}$$

a) Pomers



b) Vinya

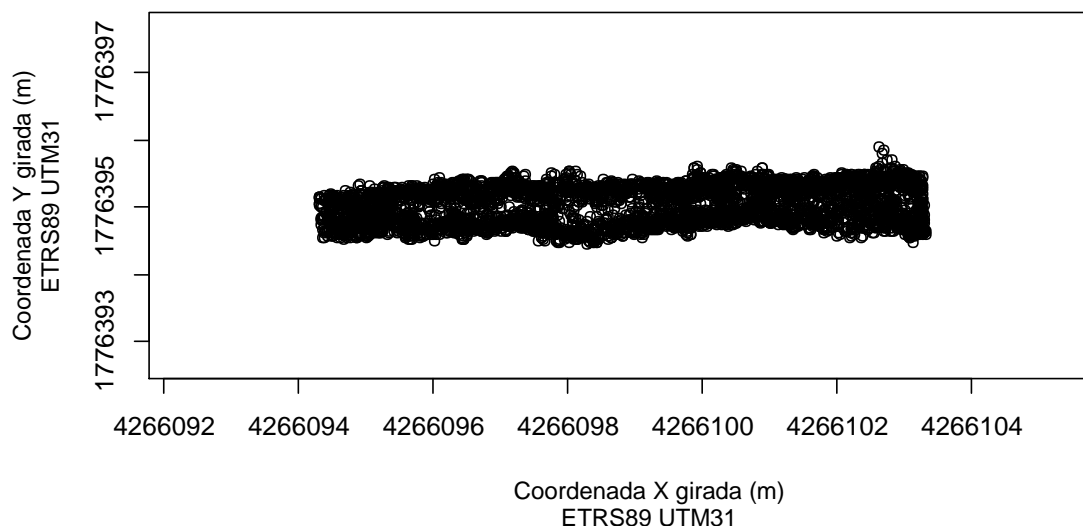


Figura 18: Representació d'un núvol de punts de pomers **(a)** i de vinya **(b)** amb les dades girades.

→ **Segona part:**

Una vegada es van importar i prepara les dades es va procedir a fer la seva anàlisi.

L'anàlisi es va duu a terme mitjançant diverses caixes de forma prismàtica que recorrien la fila amb una direcció d'avanç en l'eix de la X (*Coordenada X*) i al llarg de la seva longitud (Martínez-Casasnovas, J. A *et al.*, 2017). Tal com es pot apreciar a la Figura 19, es van adoptar unes dimensions de 10 cm d'altura i d'amplada en els eixos Z i X i de dimensions variables en l'eix Y.

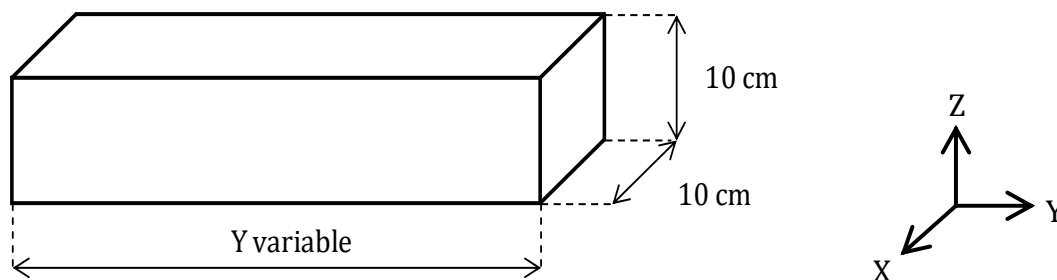


Figura 19: Detall de la caixa d'anàlisi.

Taula 5: Significat de cada coordenada.

Eix de coordenades	
X	Amplada del tram que interessa analitzar
Y	Amplada d'anàlisi. Ha d'incloure tota la vegetació.
Z	Alçada de la vegetació.

Cal justificar que es va escollir construir les caixes cada 10 cm perquè es va considerar que era una amplada amb suficient resolució per extreure paràmetres de la vegetació d'interès agronòmic.

Pel que fa a l'amplada de la vegetació que queda continguda en la caixa d'anàlisi (eix Y) es va determinar de dues formes diferents:

- 1. Amplada mitjana màxima** entre els dos punts més allunyats continguts a l'interior de cada una de les caixes.
- 2. Amplada al percentil 90%.** Es va considerar que les dades en l'eix Y de cada una de les caixes seguien una distribució normal. Aquesta es va calcular fent la diferència entre el percentil 5% i el percentil 95%. Va caldre definir al codi de càlcul, doncs, una funció que permetés realitzar aquesta operació.

A mesura que s'executava el codi d'anàlisi es construïen tants prismes (en els eixos Y i Z) com fossin necessaris (Figura 20) per a poder caracteritzar la totalitat de la vegetació. El centroid de cada prisma hauria de coincidir aproximadament amb el centre de la fila amb direcció de l'eix Y, tot i que com és evident la vegetació podia estar desplaçada a dreta i esquerra de l'eix central. El conjunt de prismes

construïts en l'eix Z i cada 10 cm en direcció l'eix Y conformen el que s'anomena *llesca*.

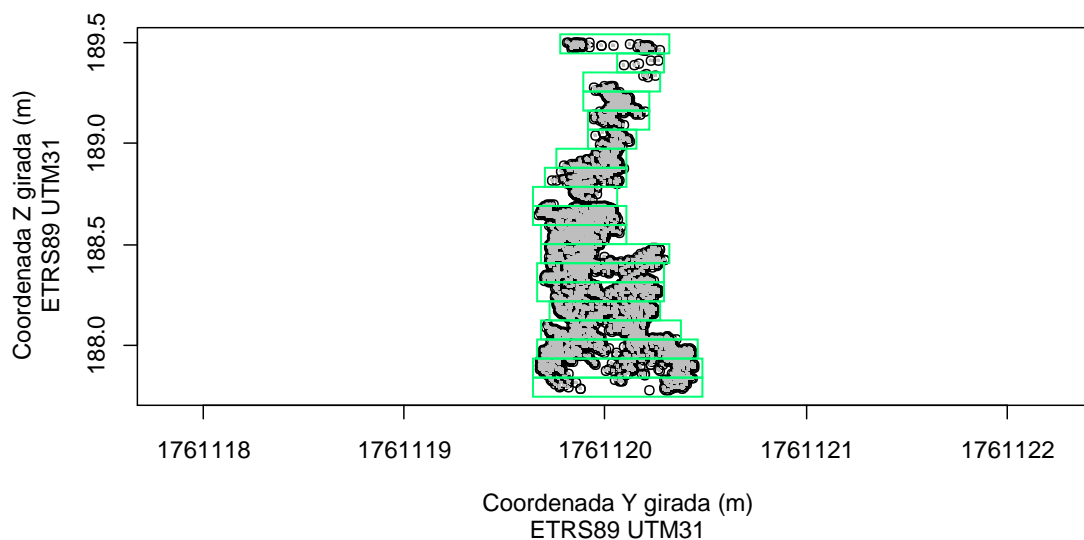
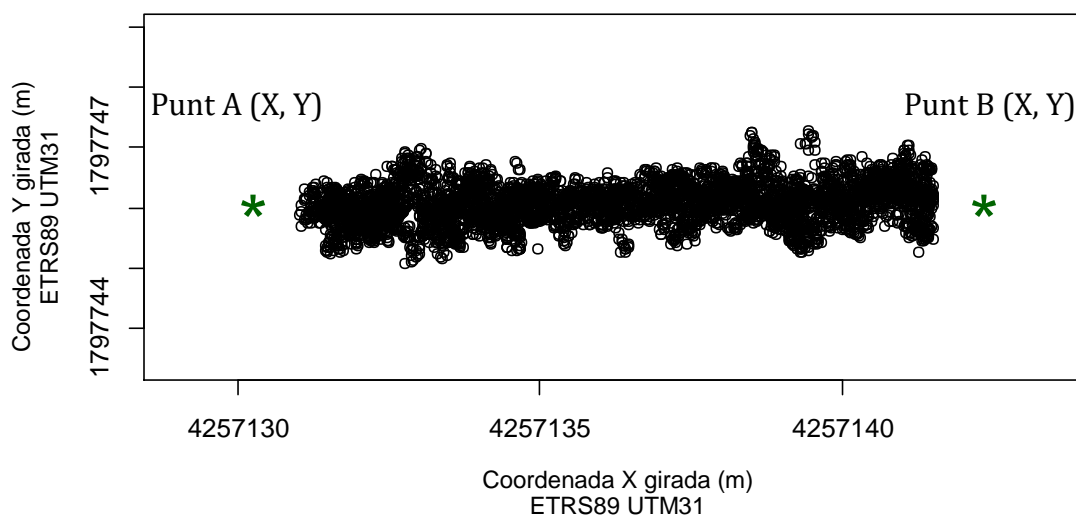


Figura 20: Secció transversal d'anàlisi d'una filera de poma girada.

També, calia indicar al programa quines eren les coordenades X, Y on començava l'anàlisi (punt A i C) i en quines es finalitzava (punt B i D). En aquest treball (com a primera prova) es van situar dos punts fora de les longituds màximes de les files de pomers i vinya i per a cada una de les seves alçades d'escaneig. En un futur caldrà determinar amb major exactitud quines han de ser les coordenades dels punts A i B per agilitzar el procés de càlcul.

a) Poma



b) Vinya

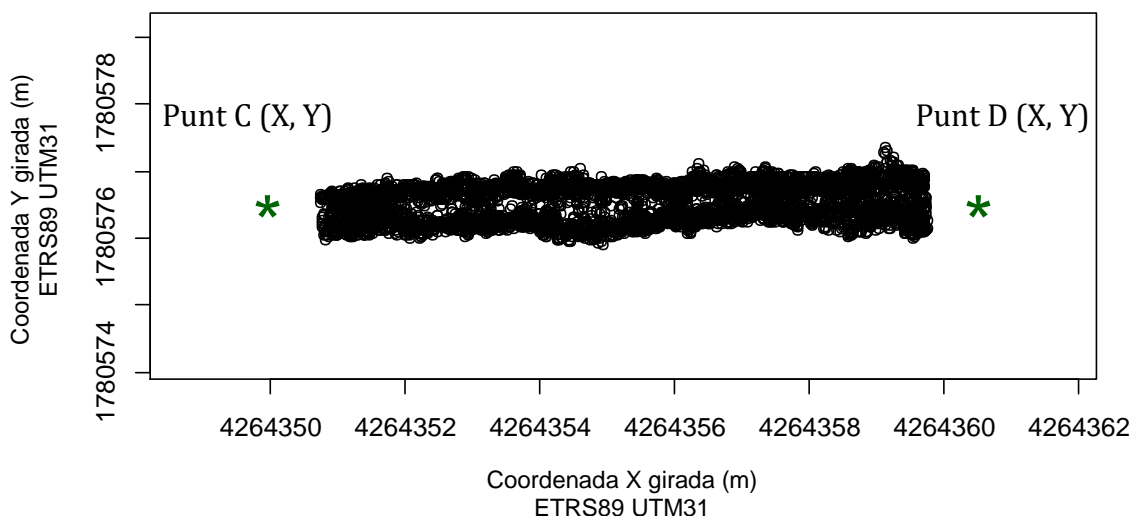


Figura 21: Punts d'inici i de fi d'escaneig per les fileres de pomers **(a)** i vinya **(b)**.

Punt A X=4272412,1135 m i Y=1761119,9951 m UTM31T/ETRS89, **Punt B** X=4272424,2150 m i Y=1761119,9951 m UTM31T/ETRS89, **Punt C** X=4264349,9457 m i Y=1780576,5093 m UTM31T/ETRS89, **Punt D** X=4264360,5089 m i Y=1780576,5093 m UTM31T/ETRS89.

Una vegada es va realitzar l'anàlisi es va obtenir una taula, identificada com a *DataRow* al programa de càlcul, de 17 columnes i de tantes files com caixes construïdes en l'eix de les X (anomenades *DataBox*) per a cada núvol analitzat. El contingut de les columnes era el següent:

- **CentreXGir:** Centre de cada caixa d'anàlisi respecte la coordenada X girada.
- **CentreYGir:** Centre de cada caixa d'anàlisi respecte la coordenada Y girada.
- **Points:** Número de punts de conté cada caixa d'anàlisi.
- **AmpleMàx:** Amplada màxima en direcció de l'eix Y de cada caixa d'anàlisi.
- **Ample90:** Amplada al percentil 90 en direcció de l'eix Y de cada caixa d'anàlisi.
- **DVAmpleMàx:** Desviació estàndard de cada caixa d'anàlisi per amplada màxima.
- **DVAmple90:** Desviació estàndard de cada caixa d'anàlisi per amplada al percentil 90.
- **AltMàx:** Alçada màxima en direcció de l'eix Z de cada caixa d'anàlisi.
- **Alt90:** Alçada al percentil 90 en direcció de l'eix Z de cada caixa d'anàlisi.
- **CentreX:** Centre de cada caixa d'anàlisi respecte la coordenada X real.
- **CentreY:** Centre de cada caixa d'anàlisi respecte la coordenada Y real.

- ***S_CHULL***: Secció transversal de cada caixa d'anàlisi calculada a partir d'un algoritme desenvolupat per Eddy l'any 1997. Aquesta funció construeix polígons que tenen els costats convexos i els seus vèrtexs estan situats als punts més externs de cada caixa d'anàlisi.
- ***S_AmpleMàx***: Secció transversal de cada caixa d'anàlisi definida per l'amplada màxima en direcció de l'eix Y.
- ***S_Ample90***: Secció transversal de cada caixa d'anàlisi definida per l'amplada al percentil 90 en direcció de l'eix Y.
- ***TRV_Màx***: Volum de cada caixa d'anàlisi definida per l'amplada màxima en direcció de l'eix Y.
- ***TRV_P90***: Volum de cada caixa d'anàlisi definida per l'amplada al percentil 90 en direcció de l'eix Y.
- ***Núvol***: Valor que identifica cada núvol de punts segons la Taula 4.

Finalment, es va habilitar una funció per eliminar les fileres de la taula *DataRow* que no contenien valors (*NA*) i les que contenien un 0 a totes les columnes. Aquest fet es produïa perquè les coordenades d'inici i de final d'anàlisi estaven situades fora de la fila i per tant, algunes caixes podien no contenir cap punt al seu interior.

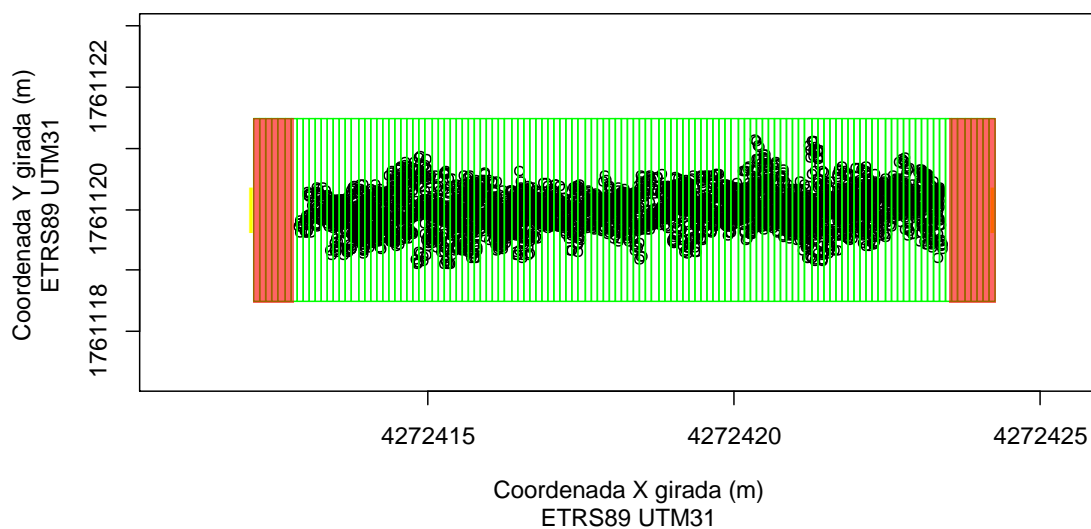


Figura 22: Caixes d'anàlisi excloses de l'anàlisi d'una filera de pomers. Identificades de color vermell al costat dret i esquerre.

Els paràmetres obtinguts de l'anàlisi es van exportar en format *.txt* per poder dur a terme l'anàlisi estadístic de les dades.

3.3.2. DETERMINACIÓ DE LA VELOCITAT ÒPTIMA D'ESCAINEIG

En aquest apartat s'exposa com determinar la velocitat d'avanç òptima del sistema d'escaneig. Per fer-ho, es va desenvolupar una nova versió del codi de càlcul que permetia eliminar escanejos del núvol de punts que es va analitzar.

Durant la presa de dades a camp la plataforma elevadora on hi havia instal·lat el sistema d'adquisició de dades avançava pels carrers de la parcel·la a una velocitat v_0 (en funció del cultiu escanejat). Tal com s'ha exposat a l'apartat 3.3. cada dada està identificada amb un escaneig. Així doncs, semblava lògic pensar que si s'eliminaven alguns escanejos de forma intermitent, és a dir, un si un no, la velocitat teòrica d'avanç seria el doble de v_0 (Taula 6).

El codi de càlcul permetia individualitzar la composició de núvols (dreta i esquerra) per a cada alçada d'escaneig. Seguidament, se seleccionava quantes llesques es volien eliminar en la direcció d'avanç. Per fer-ho, s'identificava el número inicial i final d'escaneig de cada núvol i es calculava quants escanejos hi havia a l'interval per tal de poder indicar en quina freqüència es volien eliminar (un no, un si; un no, dos si; un no, tres si, etc.).

Taula 6: Velocitats teòriques d'avanç en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

	Pomers	Vinya
Identificació	Velocitat teòrica (km/s)	Velocitat teòrica (km/s)
v_0	0,684	0,659
$v_0 \times 2$	1,368	1,318
$v_0 \times 3$	2,012	1,938
$v_0 \times 4$	2,736	2,635
$v_0 \times 5$	3,420	3,294
$v_0 \times 7$	4,560	4,392
$v_0 \times 10$	6,840	6,588

L'eliminació dels escanejos va permetre obtenir el número de punts que s'haurien obtingut si la plataforma hagués avançat segons el conjunt de velocitats calculades. Com a conseqüència, cada caixa d'anàlisi contenia un número de punts

menor i els paràmetres d'estudi plantejats en aquest treball es podien veure alterats. En aquest treball no es va tornar a realitzar l'estudi estadístic dels resultats aconseguits per les velocitats simulades. No obstant, sí que es va dur a terme una comparativa entre els resultats que es van obtenir per a cada velocitat i pels paràmetres d'amplada màxima, alçada màxima i secció transversal màxima

3.4. TRACTAMENT ESTADÍSTIC DE LES DADES

Una vegada analitzades les fileres d'estudi amb el codi desenvolupat per aquest treball, es va duu a terme una anàlisi detallada dels resultats. L'objectiu era determinar quina és la millor alçada d'escaneig i a quina velocitat d'avanç s'aconseguien valors coherents per a cada variable de l'estudi.

Per assolir aquest objectiu, es va estudiar per una banda, si existien diferències significatives per a cada paràmetre que es tracta en aquest treball segons l'alçada d'escaneig. Per fer-ho es va utilitzar el software JMP Pro 13.0, el qual va permetre calcular la separació de mitjanes entre les variables a analitzar. Per a les diferents separacions de mitjanes abordades en aquest treball es va utilitzar el mètode Tukey-Kramer HSD amb un nivell de significació (α) de 0,05. Les mitjanes amb lletres diferents presentaven diferències estadísticament significatives. Seguidament es va comparar, per a cada paràmetre d'estudi, els resultats màxims amb els calculats a partir del percentil 90 per tal d'obtenir-ne la correlació.

En segon lloc, es van relacionar diferents alçades d'escaneig per tal de determinar la possibilitat d'establir un factor de correcció. Aquest tractament va permetre aconseguir una idea més robusta per decidir la posició de funcionament òptima del sensor.

En tercer lloc, i ja per finalitzar els resultats, es van simular un conjunt de velocitats per a cada cultiu tractat. La finalitat era definir la màxima velocitat d'avanç del sistema elèctric exposat. En aquest cas es va calcular la separació de mitjanes pels conjunts de velocitats simulades (també amb el mètode Tukey-Kramer HSD, $\alpha=0,05$), i només es van considerar vàlides les velocitats que no

presentaven diferències significatives amb la inicial (v_0). La velocitat òptima és aquella que permet augmentar la capacitat de treball del mecanisme.

Cal destacar, que en aquest treball no es disposava d'un patró de referència i per aquest motiu es va adoptar la idea que els resultats òptims s'aconseguien amb les posicions d'escaneig terrestre i quan la velocitat d'avanç del mecanisme era lenta.

3.5. AVALUACIÓ ECONÒMICA

El cost de la inversió és el principal factor que s'ha de tenir en compte a l'hora de prendre la decisió d'impulsar un nou negoci. En aquest treball s'estima quina és la inversió, tant per escaneig terrestre com per escaneig aeri, que hauria d'assumir una empresa per tal de proporcionar el servei exposat. A més a més, també es van calcular l'amortització i la rendibilitat de la inversió en un període de 10 anys. Es va considerar que en aquest període la maquinària adquirida no quedaria obsoleta donat al potencial tecnològic que presenta.

Per dur a terme el càlcul de l'avaluació econòmica i de la resta de paràmetres financers es va desenvolupar un full de càlcul que permetia actualitzar el capital i optimitzar el preu de venda per tal d'aconseguir l'amortització i una rendibilitat absoluta al cap de 10 anys d'haver realitzar la inversió.

$$VAN = -K_0 + \sum \frac{F_{Ct}}{(1+r)^t} \quad \text{on} \quad \begin{array}{l} K_0 = \text{pagament de la inversió} \\ t = \text{vida de la inversió} \\ F_{Ct} = \text{Flux de caixa} \end{array}$$

Per una banda, es va tenir en compte el pagament de la inversió, el qual està relacionat amb l'adquisició del material. En aquest es va considerar la compra del sensor LiDAR, del sistema de georeferenciació, del sistema d'adquisició de dades, del dron, entre altres. Per altra banda, les despeses engloben els costos d'escaneig en funció de les hectàrees escanejades. Cal destacar, principalment, el cost del servei tècnic. En aquest recauen les tasques relacionades amb l'adquisició, el tractament de dades i l'assessorament tècnic al client.

És necessari ressaltar que per a l'escaneig terrestre l'empresa lloga un tractor agrícola a una empresa externa. D'aquesta manera, els típics costos de reparacions, combustible i manteniment no són assumits directament per l'empresa de serveis. Tanmateix, per l'escaneig aeri es va contemplar la compra del dron i per tant, es va adoptar al bloc de "pagament de la inversió". S'adopta que l'aparell té un ús exclusiu per escanejar les fileres de vegetació.

Un cop determinada la inversió, igual per a cada cultiu, es va calcular quin era el preu de venda del servei per a cada cas. Com és lògic, les despeses varien substancialment en funció del temps que es necessita per escanejar la parcel·la, el qual està estretament relacionat amb la velocitat d'avanç. Així doncs, per dur a terme l'avaluació econòmica del projecte, es va simular una parcel·la d'1 ha (100 m de llarg i 100 m d'ample) amb una distància de carrers de 4 m pel cas de les pomeres i de 3,5 m pel cas de la vinya, aconseguint 24 i 27 fileres, respectivament.

Les velocitats d'avanç, ja sigui per escaneig terrestre o bé per escaneig aeri, s'especifiquen als apartats corresponents de l'avaluació econòmica i corresponen a les velocitats òptimes d'escaneig. A més a més, per ambdós cultius, s'han de fer dues passades per obtenir una caracterització adequada de la vegetació.

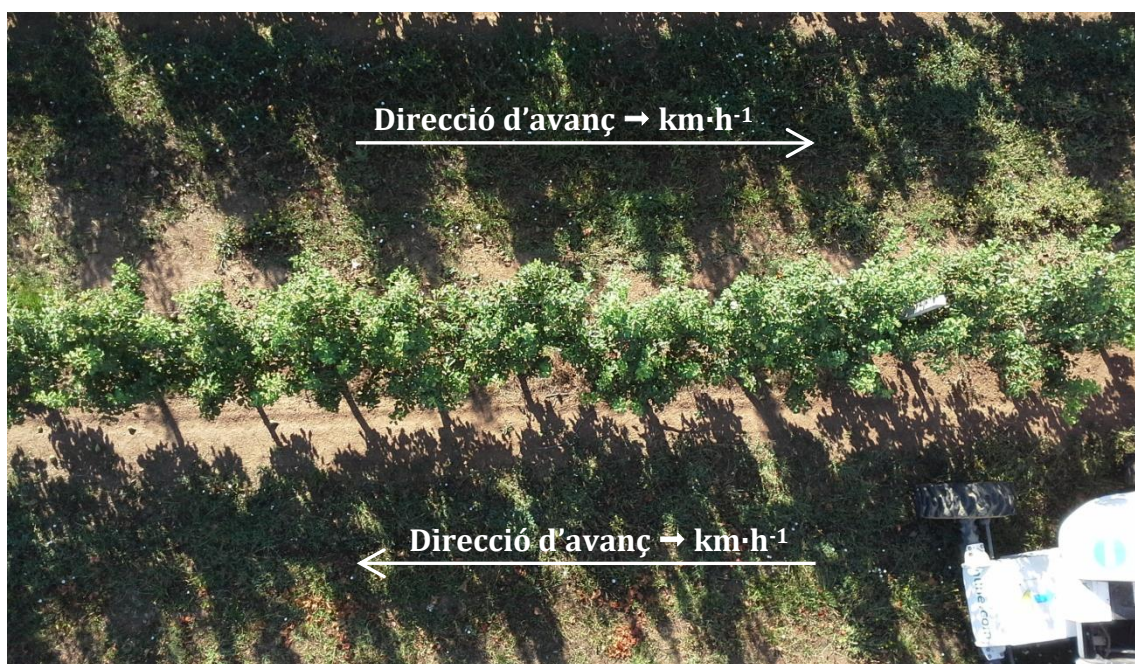


Figura 23: Direcció d'avanç per als escanejos terrestres i aeris (Autor: Alexandre Escolà).

3.6. SOFTWARE UTILITZAT

Pel desenvolupament d'aquest treball s'han utilitzat diferents programes amb diferents propòsits. Tal com es mostra a la Figura 24, cada programa s'ha emprat de forma seqüencial a l'anterior.



Figura 24: Seqüència dels programes utilitzats.

4. RESULTATS

4.1. RESULTATS EN POMERS

Es presenten els resultats estadístics de cada paràmetre d'estudi obtingut de l'anàlisi d'una filera de 10,5 m de longitud en seccions de 10 cm. A més a més, també es mostra la relació entre els paràmetres màxims i percentil 90 per tal de determinar la correlació entre ells.

4.1.1. AMPLADA DE CAPÇADA

A la Figura 25 es mostren les amplades de capçada màxima mitjana i les amplades percentil 90 mitjana del tram de fila de pomers estudiats. A la Taula 7 es mostra la comparació de les mitjanes d'amplada màxima.

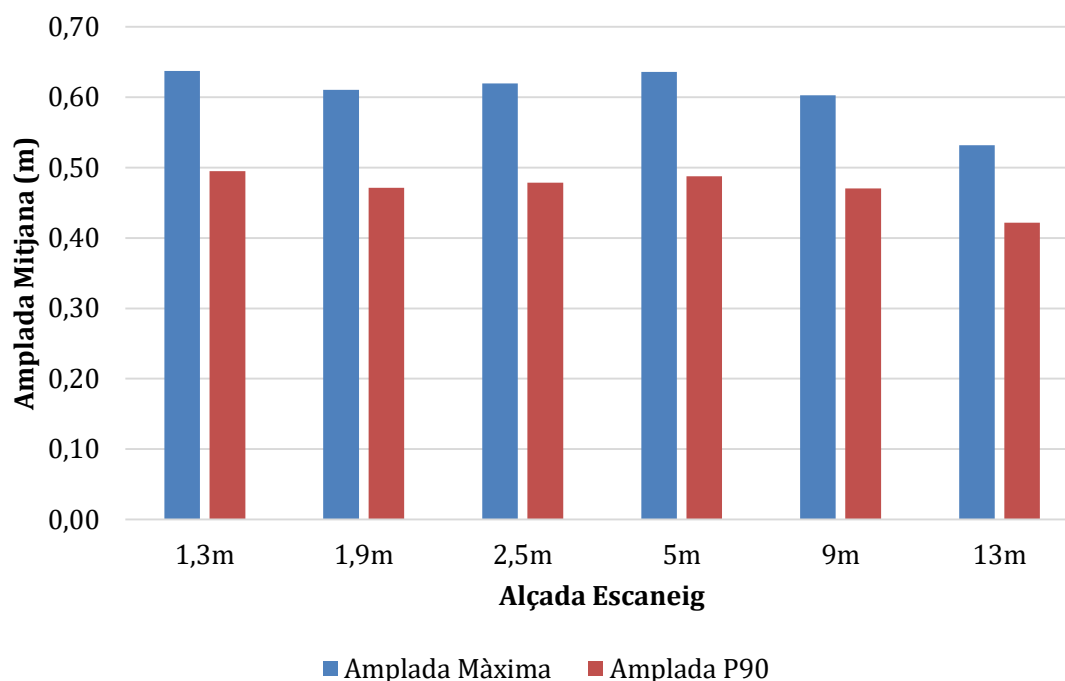


Figura 25: Diagrama de barres de les amplades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.

Taula 7: Comparació de mitjanes de l'amplada màxima de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Amplada màxima mitjana (m)
1,3m	0,637a
5m	0,636a
2,5m	0,619a
1,9m	0,610a
9m	0,603a
13m	0,532b

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Les alçades d'escaneig utilitzades en aquest experiment presenten valors d'amplada màxima mitjana molt similars entre ells (exceptuant l'alçada de 13 m). Per tant, des del punt de vista estadístic no es donen diferències significatives entre els escanejos terrestres (des d'1,3 m, 1,9 m i 2,5 m) i els escanejos aeris (des de 5 m i 9 m).

Degut a que el sensor LiDAR escaneja de forma radial, és lògic que a mesura que s'augmenta l'alçada d'escaneig es produeixi una pèrdua d'informació (tot i mantenir la resolució angular, les mesures queden més separades a més distància) i que per als escanejos més elevats s'obtinguin resultats inferiors degut a la llunyana posició de l'objectiu. Aquest fet es mostra accentuat a partir de l'alçada de 13 m i per aquest motiu es considera que no és una posició òptima per al correcte funcionament del sensor.

Pel que fa a la variable d'estudi "Amplada percentil 90 mitjana" es pot apreciar la mateixa resposta que l'exposada anteriorment (Taula 8). En aquest cas, cal destacar que l'alçada d'escaneig de 13 m no presenta diferències significatives amb les alçades d'1,9 m i 9 m. El fet de calcular el percentil 90 de les amplades de les diferents *llesques* al llarg de la filera d'estudi provoca una disminució de la secció de les caixes (aproximadament un 20%) (Taula 7 vs. Taula 8) d'anàlisis mostrant-se, en alguns casos, més accentuada.

Taula 8: Comparació de mitjanes de l'amplada percentil 90 de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Amplada percentil 90 mitjana (m)
1,3m	0,495a
5m	0,487a
2,5m	0,479a
1,9m	0,471ab
9m	0,470ab
13m	0,422b

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Així doncs, es conclou que per a poder obtenir resultats d'amplada pròxims als de referència s'ha d'escanejar fins a una alçada màxima de 9 m i pels dos costats de la filera d'estudi.

A la Figura 26 es pot observar un bon ajust entre les variables d'estudi exposades en aquest apartat (R^2 proper a 1). Aquesta situació facilita l'estudi d'aquestes variables per al conjunt de velocitats d'avanç simulades.

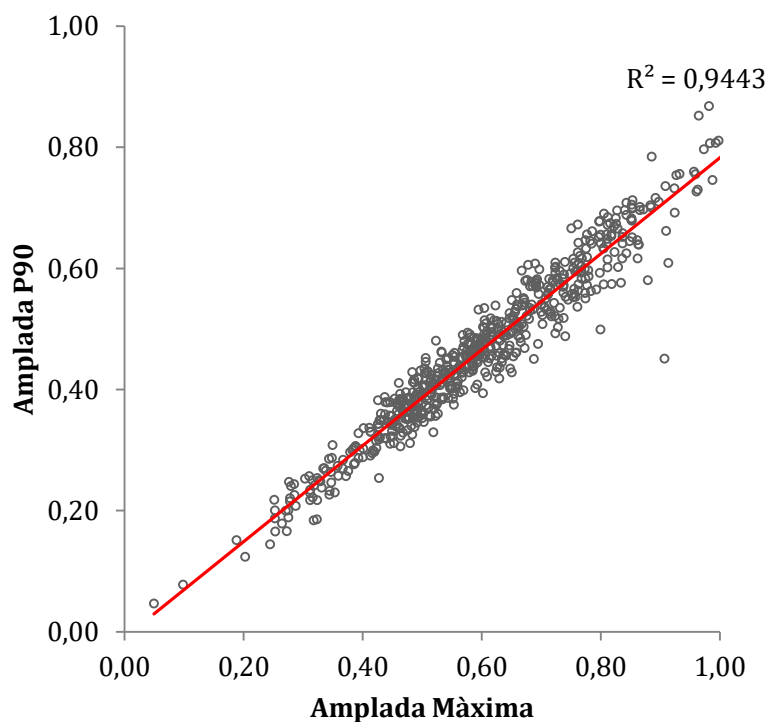


Figura 26: Correlació de les amplades de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.

4.1.2. ALÇADA DE CAPÇADA

A la Figura 27 es mostren les alçades de capçada màxima mitjana i les alçades percentil 90 mitjana del tram de fila de pomers estudiats. A la Taula 9 es mostra la comparació de les mitjanes d'amplada màxima.

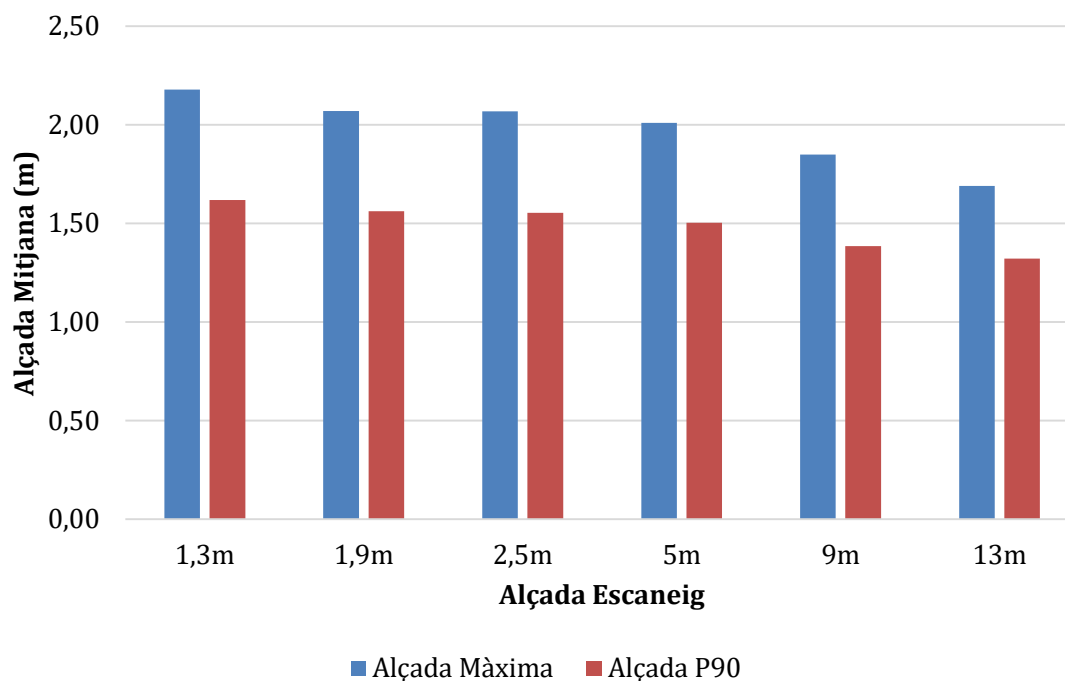


Figura 27: Diagrama de barres de les alçades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.

Taula 9: Comparació de mitjanes de l'alçada màxima de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Alçada màxima mitjana (m)
1,3m	2,178a
1,9m	2,070a
2,5m	2,068a
5m	2,009ab
9m	1,849bc
13m	1,689c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Per a les alçades d'escaneig terrestres s'obtenen unes alçades màximes mitjanes molt properes entre elles i amb una diferència màxima de 10 cm (Taula 9). Tanmateix, per a les alçades d'escaneig aèries es dona una major variabilitat entre

elles, essent l'alçada de 5 m la que més s'aproxima als valors terrestres. En aquest cas, l'efecte "alçada d'escaneig" torna a ser un paràmetre clau per aconseguir una mesura correcta de les dades.

L'efecte de "l'alçada d'escaneig" es pot veure reflectida als resultats obtinguts (valors decreixents en augmentar l'alçada d'escaneig). Aquests són coherents, ja que en augmentar l'altura de la posició del sensor disminueix la visibilitat de manera que alguns raigs de llum no impacten a la vegetació que es troba sota la copa de l'arbre.

L'alçada percentil 90 presenta el mateix efecte que s'ha comentat anteriorment (Taula 10). Les diferències significatives es continuen mantenint entre les alçades d'escaneig més baixes (fins a 5 m) i les més elevades.

Taula 10: Comparació de mitjanes de l'alçada percentil 90 de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Alçada percentil 90 mitjana (m)
1,3m	1,618 a
1,9m	1,562 a
2,5m	1,554 a
5m	1,503 ab
9m	1,384 bc
13m	1,321 c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Pel que fa a l'estudi de l'alçada de l'arbre es recomana escanejar a una alçada màxima de 5 m. Estadísticament, és l'alçada que permet obtenir valors propers als obtinguts mitjançant els escanejos terrestres.

La Figura 28 mostra la correlació entre els paràmetres d'estudi explicats en aquest apartat. Tal com es pot observar, el coeficient de determinació és de 0,80 i, tot i no ser molt proper a 1, es considera que hi ha un bon ajust entre les dues variables tractades. Amb aquests resultats, únicament s'estudiarà la variable "amplada màxima mitjana" per al conjunt de velocitats simulades (apartat 3.3.2).

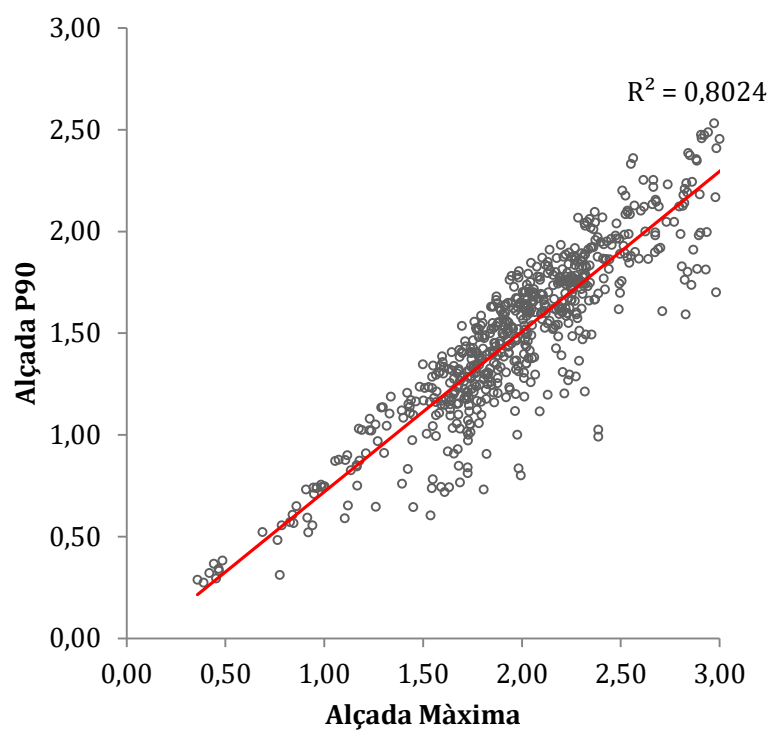
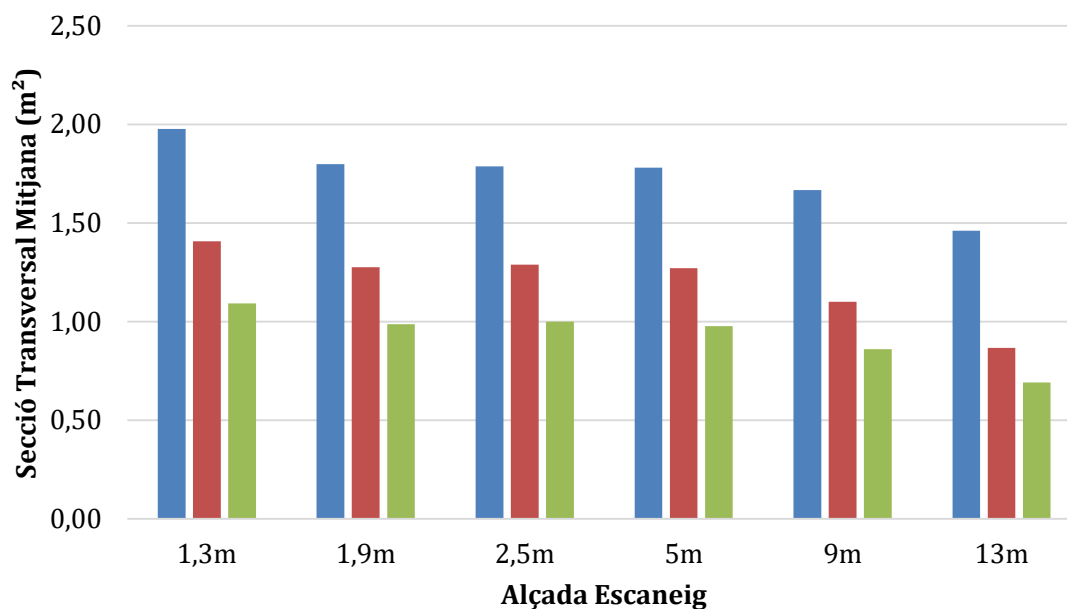


Figura 28: Correlació de les alçades de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.

4.1.3. SECCIÓ TRANSVERSAL DE CAPÇADA

A la Figura 29 es mostren les seccions transversals de capçada *CHULL* mitjana, màxima mitjana i percentil 90 mitjana del tram de fila de pomers estudiats.



■ Secció Transversal CHULL ■ Secció Transversal màxima ■ Secció Transversal P90

Figura 29: Diagrama de barres de les seccions transversals de capçada *CHULL* mitjanes, màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de les pomeres.

Els resultats que s'obtenen (Taula 11) sobreestimen la secció de referència de la filera. No obstant, aquest mètode permet establir una primera aproximació sobre la via d'escaneig òptima.

Taula 11: Comparació de mitjanes de la secció transversal *CHULL* de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Secció transversal CHULL (m²)
1,3m	1,977a
1,9m	1,799ab
2,5m	1,788ab
5m	1,780ab
9m	1,667bc
13m	1,461c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

La secció transversal calculada a partir de l'amplada màxima de la caixa d'anàlisi presenta més de 50 cm² de diferència entre la primera i l'última mitjana (Taula 12).

Taula 12: Comparació de mitjanes de la secció transversal màxima de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Secció transversal màxima mitjana (m²)
1,3m	1,407a
2,5m	1,289a
1,9m	1,276a
5m	1,271a
9m	1,100b
13m	0,867c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

En aquest cas, s'observen tres grups diferenciats. Per una banda, no s'aprecien diferències significatives per a les alçades d'escaneig més baixes (fins a una altura de 5 m), seguint amb la situació que ja s'ha donat per a la majoria de paràmetres estudiats. Per altra banda, els resultats de les alçades d'escaneig de 9 m i 13 m són significativament diferents entre ells i també entre la resta d'alçades. S'observa, doncs, que es perd informació en augmentar l'altura d'escaneig.

Taula 13: Comparació de mitjanes de la secció transversal percentil 90 de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Secció transversal percentil 90 mitjana (m²)
1,3m	1,092a
2,5m	1,000a
1,9m	0,986ab
5m	0,977ab
9m	0,861b
13m	0,691c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

La secció transversal calculada a partir de l'amplada percentil 90 presenta diferències significatives similars a la variable anterior. En aquest cas, es dona una

estreta relació entre les alçades 1,9 m, 5 m i 9 m (semblant a la relació presentada per la variable “Amplada percentil 90 mitjana”).

La Figura 30 mostra la correlació entre les variables d'estudi exposades en aquest apartat. Únicament es relacionen les seccions transversals que s'han calculat a partir de les amplades màximes i percentil 90. Així doncs, s'exclouen les seccions calculades mitjançant la funció CHULL, ja que aquestes estan calculades amb un procediment que fa que no s'ajustin als valors de referència.

S'observa que el coeficient de determinació és proper a 1 el qual reflecteix el bon ajust entre les variables estudiades. Tal com succeeix amb la resta de paràmetres, s'estudiarà per a les diferents velocitats d'avanç simulades, únicament, les seccions transversals màximes mitjanes.

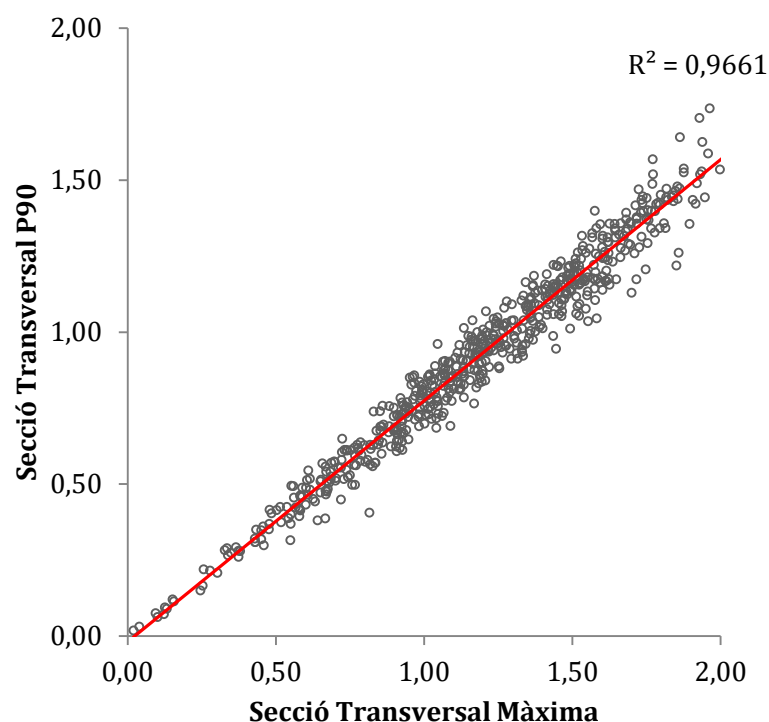


Figura 30: Correlació de les seccions transversals de capçada màximes i percentil 90 de les pomeres.

4.1.4. VOLUM DE CAPÇADA

A la Figura 31 es mostren els volums de capçada màxims mitjans i els volums percentil 90 mitjans del tram de fila de pomers estudiats.

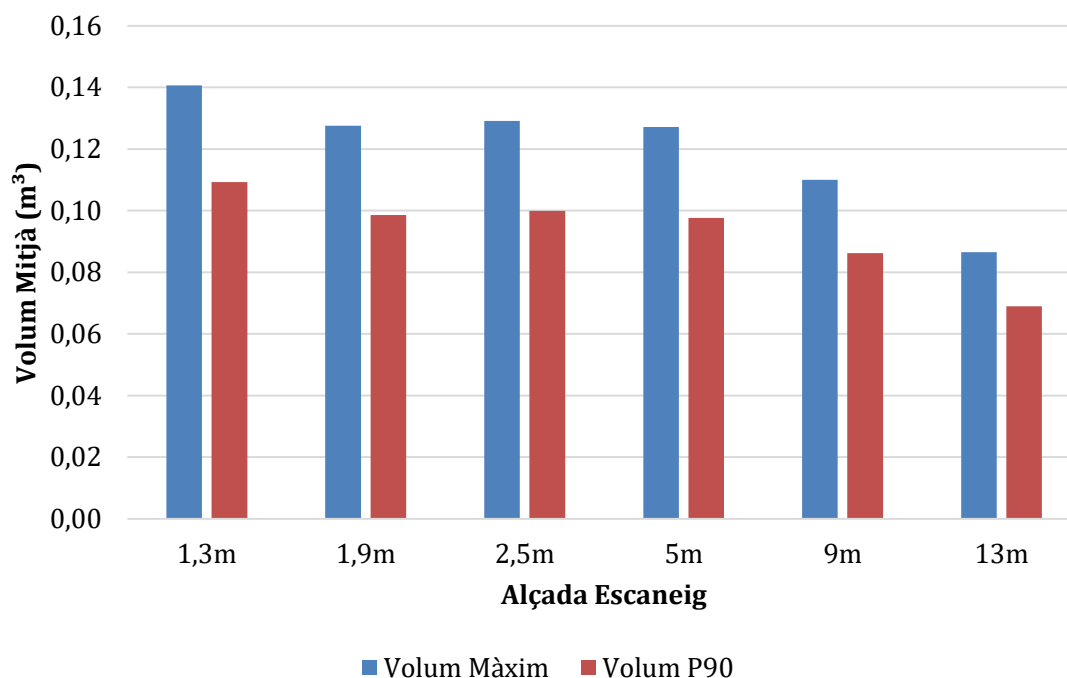


Figura 31: Diagrama de barres dels volums de capçada màxims mitjans i percentil 90 mitjans de les pomeres.

Les taules 14 i 15 mostren els volums màxims mitjans i els volums percentil 90 mitjans. Aquestes dues variables d'estudi presenten les mateixes diferències significatives que les que es mostren a l'apartat *Secció Transversal*. Aquest fet es produeix perquè els volums són els resultats de calcular el producte d'aquestes seccions per 0,1 m (profunditat de la caixa d'anàlisi).

A més a més, l'ajust de bondat d'aquestes dues variables continua sent proper a 1.

Taula 14: Comparació de mitjanes del volum màxim de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Volum màxim mitjà (m ³)
1,3m	0,141a
2,5m	0,129a
1,9m	0,128a
5m	0,127a
9m	0,110b
13m	0,087c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 15: Comparació de mitjanes del volum percentil 90 de capçada en pomeres.

Alçada escaneig	Volum percentil 90 mitjà (m ³)
1,3m	0,109a
2,5m	0,100a
1,9m	0,099ab
5m	0,098ab
9m	0,090b
13m	0,070c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

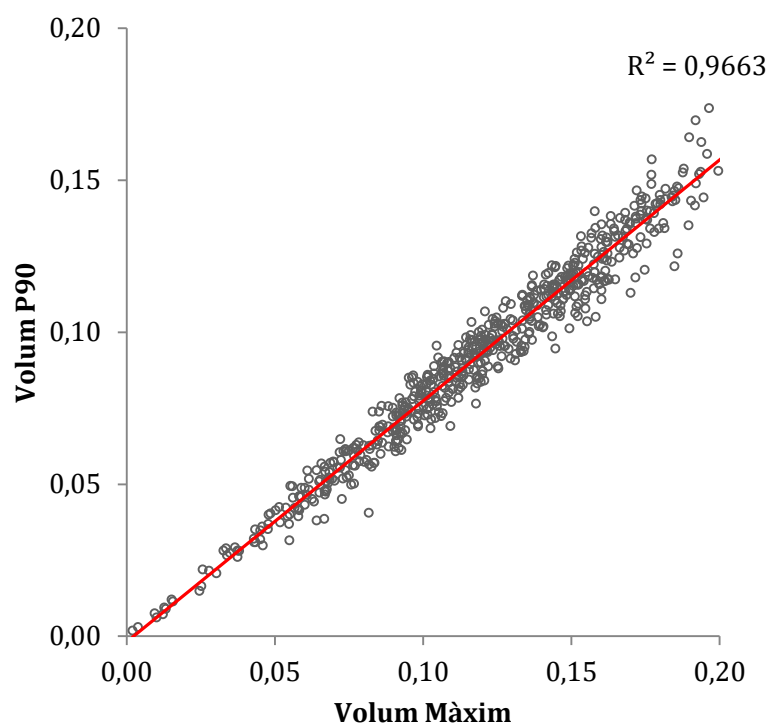


Figura 32: Correlació dels volums de capçada màxims i percentil 90 de les pomeres.

4.2. RESULTATS EN VINYA

Es presenten els resultats estadístics de cada variable d'estudi obtinguts de l'anàlisi de la fila de vinya de 9 m de longitud. Igual que el cas de la poma també es mostra la relació entre els paràmetres màxims i percentil 90 per tal de determinar la seva correlació.

4.2.1. AMPLADA DE CAPÇADA

A la Figura 33 es mostren les amplades de capçada màxima mitjana i les amplades percentil 90 mitjana del tram de fila de vinya estudiada. A la Taula 16 es mostra la comparació de les mitjanes d'amplada màxima.

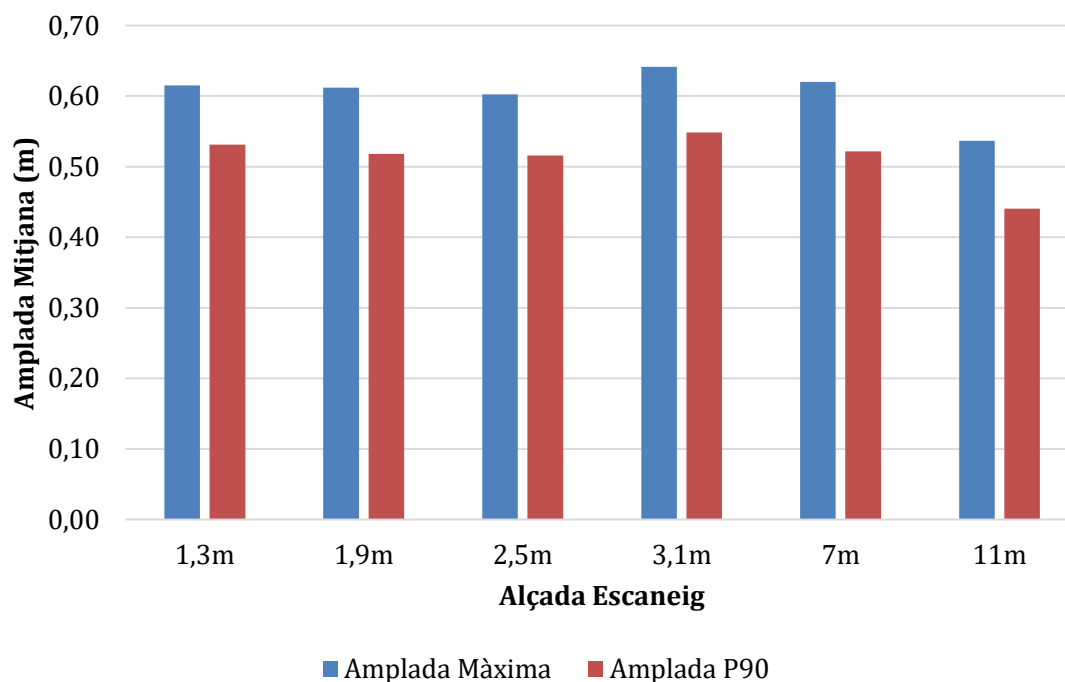


Figura 33: Diagrama de barres de les amplades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.

Es demostra que les alçades d'escaneig terrestre aporten uns valors d'amplada màxima mitjana molt similars entre ells (Taula 16). Per aquest motiu, es considera que hi ha una bona relació entre aquestes altures d'escaneig. A més a més, cal destacar que per a l'alçada de 7 m també és dona un bon ajust. Tanmateix, l'alçada més elevada utilitzada en aquest treball (11 m) és la que més dista de la resta.

Tal com succeïa en el cas de les pomeres, l'efecte "alçada d'escaneig" provoca una pèrdua d'informació la qual és veu reflectida en els resultats obtinguts. Aquest fet, doncs, sustenta la hipòtesi de funcionament del sensor exposada anteriorment.

Taula 16: Comparació de mitjanes de l'amplada màxima de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Amplada màxima mitjana (m)
3,1m	0,642a
7m	0,620ab
1,3m	0,615ab
1,9m	0,612ab
2,5m	0,603b
11m	0,537c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Pel que fa a l'alçada percentil 90 mitjana s'observa la mateixa tendència. Les alçades terrestres, juntament amb l'alçada de 7 m, no presenten diferències significatives i l'alçada d'escaneig d'11 m dista de la resta.

S'extreu la conclusió que la màxima alçada d'escaneig que es pot usar és de 7 m. El rang d'alçades comprés entre 1,3 m i 7 m és el que permet obtenir una correcta caracterització de l'amplada de la vegetació.

Taula 17: Comparació de mitjanes de l'amplada percentil 90 de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Amplada percentil 90 mitjana (m)
3,1m	0,548a
1,3m	0,531a
7m	0,522a
1,9m	0,518a
2,5m	0,516a
11m	0,440b

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

La Figura 34 mostra l'ajust entre les variables estudiades en aquest apartat. Tal com es pot observar, el coeficient de determinació és proper a 1 i per tant, s'adopta que les dades presenten una correlació satisfactòria.

Aquest fet facilita l'estudi per al conjunt de velocitats d'avanç simulades i per tant s'estudiarà, únicament, la variable "amplada màxima mitjana".

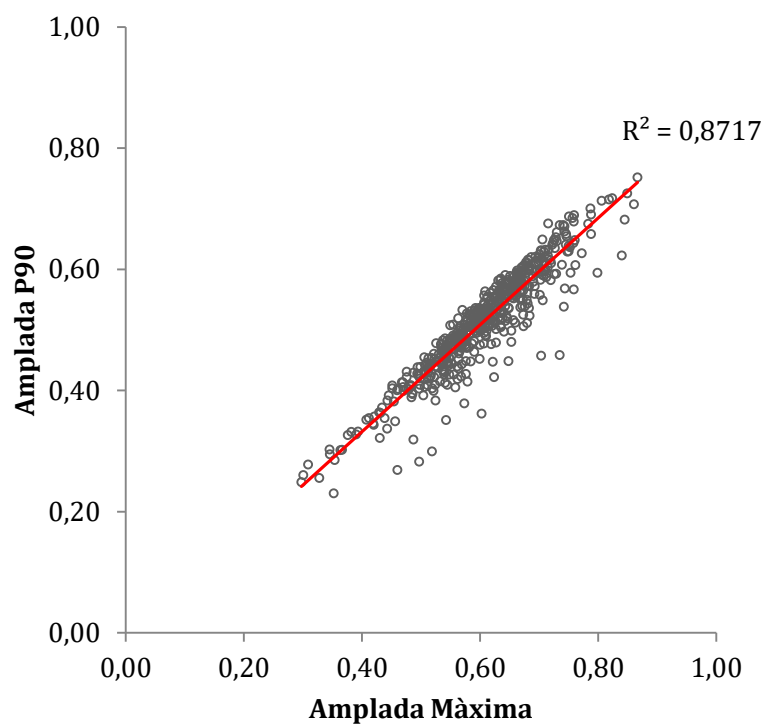


Figura 34: Correlació de les amplades de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.

4.2.2. ALÇADA DE CAPÇADA

A la Figura 35 es mostren les alçades de capçada màxima mitjana i les alçades percentil 90 mitjana del tram de fila de vinya estudiada. A la Taula 18 es mostra la comparació de les mitjanes d'alçada màxima.

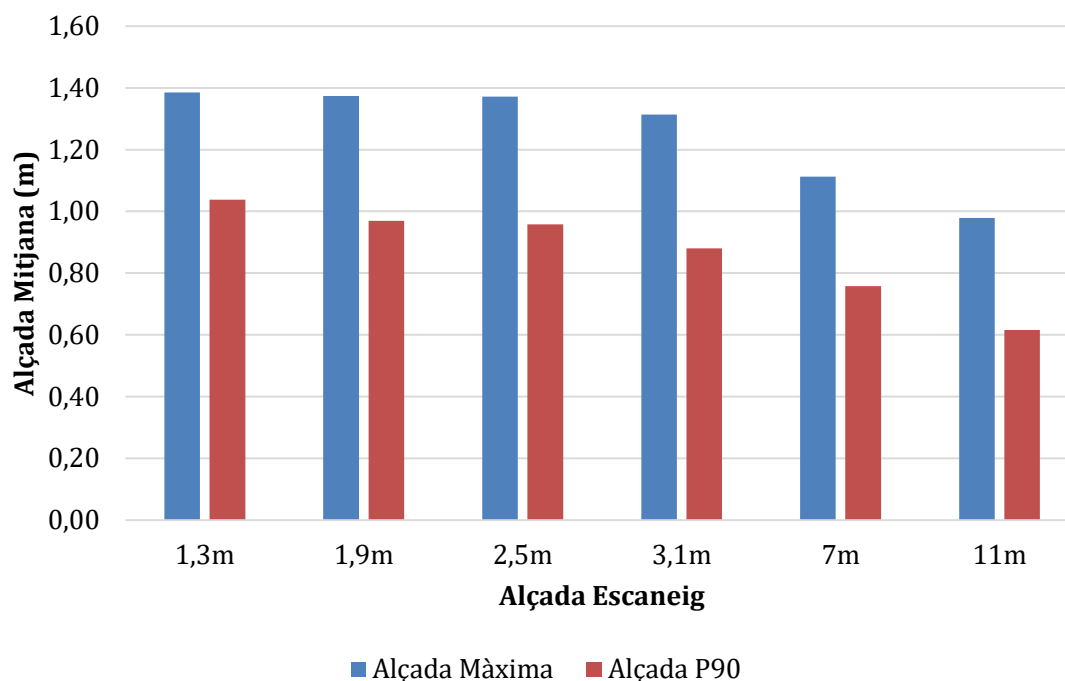


Figura 35: Diagrama de barres de les alçades de capçada màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.

Taula 18: Comparació de mitjanes de l'alçada màxima de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Alçada màxima mitjana (m)
1,3m	1,385 ^a
1,9m	1,373 ^a
2,5m	1,372 ^a
3,1m	1,314 ^a
7m	1,112 ^b
11m	0,979 ^c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

L'alçada màxima mitjana (Taula 18) presenta uns valors semblants quan les alçades d'escaneig són properes al terra (escaneig terrestre).

L'estructura de la capçada de la vinya, juntament amb les posicions d'escaneig més elevades, dificulten el rebot dels rajos de llum a les zones internes del cep. Aquest fet provoca que, des del punt de vista estadístic, es donin diferències entre mètodes d'escaneig (terrestre i aeri). Cal destacar que en el cas de la pomera també es donava aquest fenomen.

La Taula 19 corrobora, una vegada més, la hipòtesi plantejada en aquest treball. En aquest cas, es dona una major variabilitat entre els resultats fins a aconseguir una disminució de més del 40% entre les dues alçades extremes. Cal tenir en compte, que la variable representa el percentil 90 de les alçades estudiades. Les *llesques* d'anàlisi tenen unes dimensions menors i en alguns casos els resultats es poden veure altament afectats.

Taula 19: Comparació de mitjanes de l'alçada percentil 90 de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Alçada percentil 90 mitjana (m)
1,3m	1,037 a
1,9m	0,970 b
2,5m	0,958 b
3,1m	0,880 c
7m	0,758 d
11m	0,616 e

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Tal com es pot observar a la Figura 36, els paràmetres d'estudi tractats en aquest apartat tenen un ajust satisfactori ($R^2=0,7255$). Tot i no ser extremadament proper a 1 es considera que hi ha una bona correlació entre les variables. Per tant, només s'estudiarà l'alçada màxima per a les velocitats d'avanç simulades.

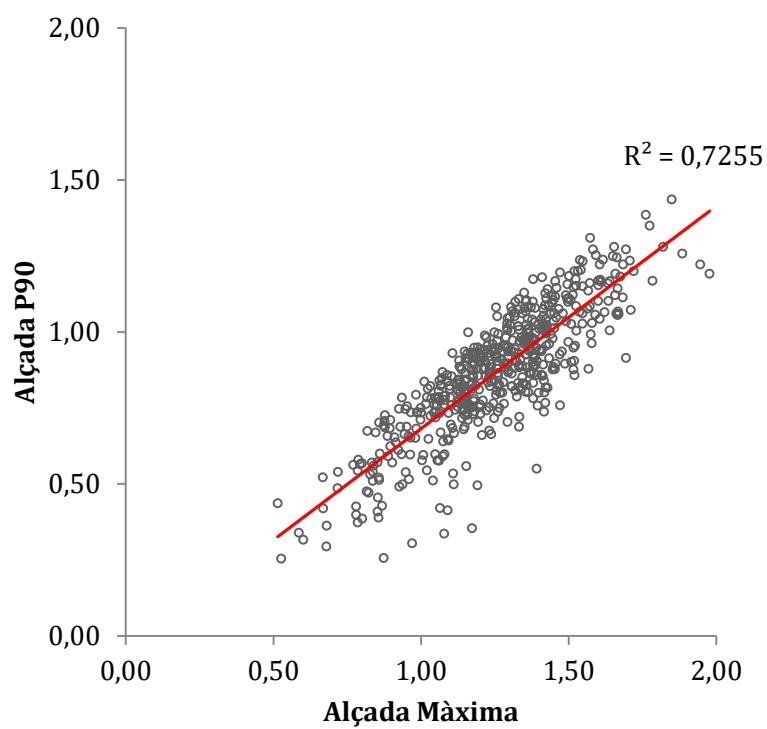


Figura 36: Correlació de les alçades de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.

4.2.3. SECCIÓ TRANSVERSAL DE CAPÇADA

A la Figura 37 es mostren les seccions transversals de capçada CHULL mitjana, màxima mitjana i percentil 90 mitjana del tram de fila de vinya estudiada. A la Taula 20 es mostra la comparació de les mitjanes de la secció transversal CHULL mitjana.

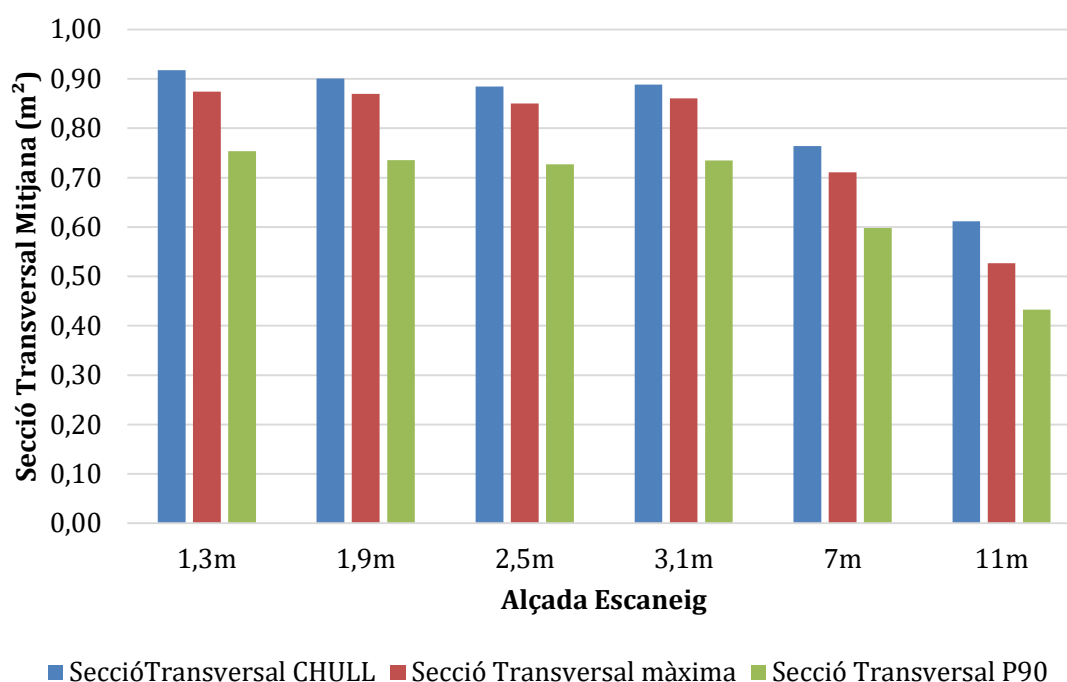


Figura 37: Diagrama de barres de les seccions transversals de capçada CHULL mitjanes, màximes mitjanes i percentil 90 mitjanes de la vinya.

Tal com s'ha mostrat a l'apartat "Resultats en Pomers", la secció transversal CHULL està calculada amb un model matemàtic i els resultats que s'obtenen són una sobreestimació dels valors reals de la secció de la filera. Així doncs, aquests resultats són purament informatius.

Taula 20: Comparació de mitjanes de la secció transversal *CHULL* de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Secció transversal CHULL (m²)
1,3m	0,918a
1,9m	0,901a
3,1m	0,888a
2,5m	0,884a
7m	0,764b
11m	0,612c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Taula 21: Comparació de mitjanes de la secció transversal màxima de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Secció transversal màxima mitjana (m²)
1,3m	0,874a
1,9m	0,870a
3,1m	0,860a
2,5m	0,850a
7m	0,710b
11m	0,527c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Per la secció transversal calculada a partir de l'amplada màxima es distingeix, clarament, les diferències que es donen entre els escanejos terrestres i aeris. Les alçades d'escaneig més baixes no presenten diferències significatives entre elles i per tant, qualsevol d'aquests punts de posicionament és idoni per obtenir resultats semblants.

Pel que fa a les alçades d'escaneig de 7 i 13 m són significativament diferents entre ells i també entre la resta d'alçades.

Taula 22: Comparació de mitjanes de la secció transversal percentil 90 de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Secció transversal percentil 90 mitjana (m ²)
1,3m	0,753a
1,9m	0,735a
3,1m	0,734a
2,5m	0,730a
7m	0,600b
11m	0,433c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

La secció transversal calculada a partir de l'amplada percentil 90 mostra la mateixa resposta estadística que s'ha exposat anteriorment, essent les àeries les significativament diferents entre la resta d'alçades.

La regressió lineal entre les dades exposades en aquest apartat només es duu a terme per a les seccions transversals calculades a partir de les amplades màximes i percentil 90. Tal com s'observa, existeix una bona correlació entre aquestes dues variables. Com la resta de paràmetres, només es tractarà la secció transversal màxima per al conjunt de velocitats d'avanç simulades.

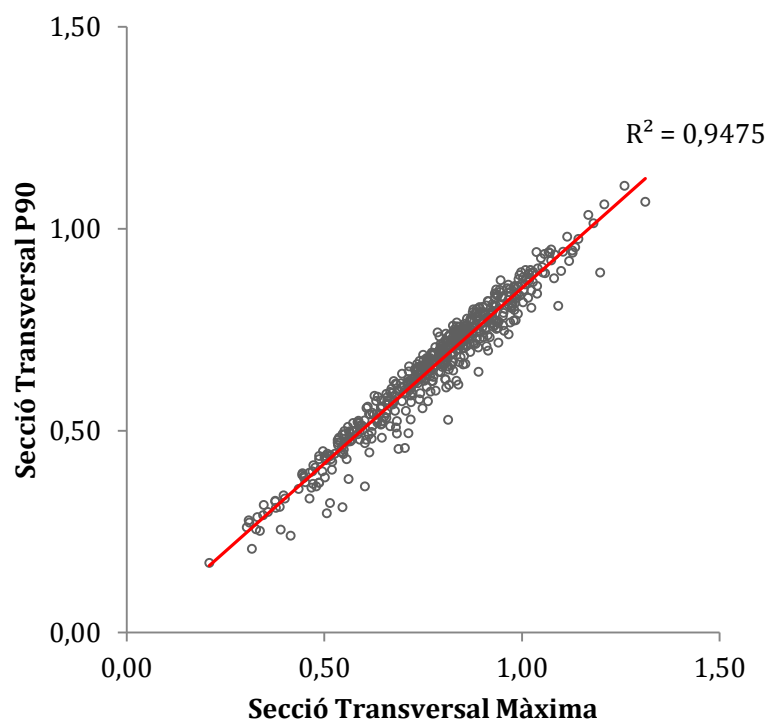


Figura 38: Correlació de les seccions transversals de capçada màximes i percentil 90 de la vinya.

4.2.4. VOLUM DE CAPÇADA

A la Figura 39 es mostren els volums de capçada màxims mitjans i els volums percentil 90 mitjans del tram de fila de vinya estudiada.

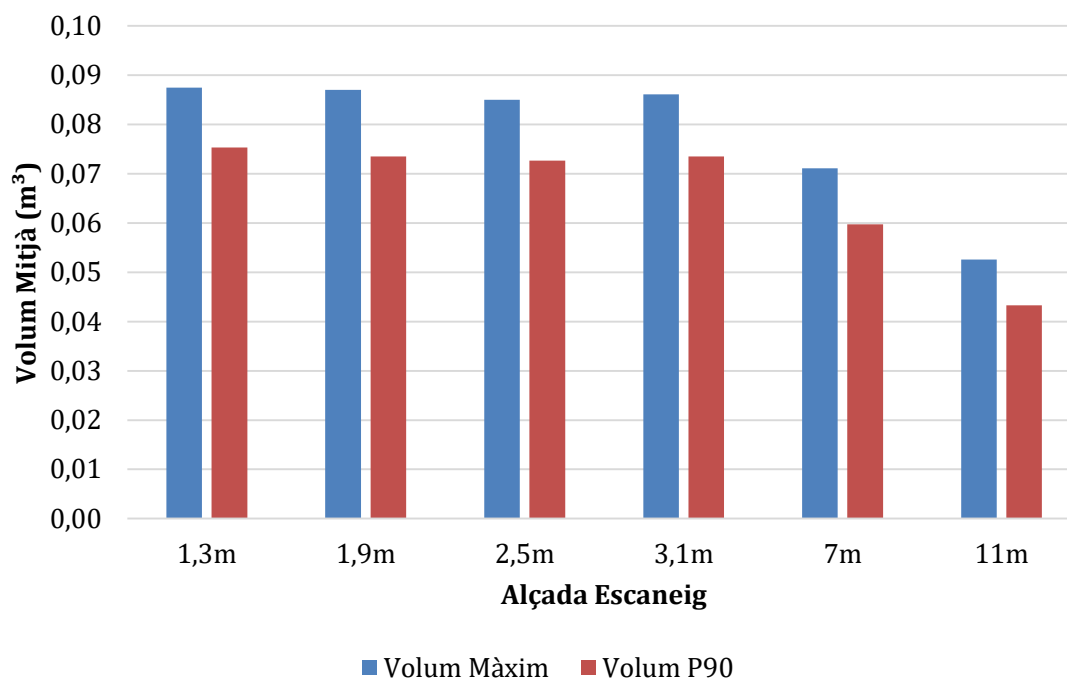


Figura 39: Diagrama de barres dels volums de capçada màxims mitjans i percentil 90 mitjans de la vinya.

Les taules 23 i 24 mostren els volums màxims mitjans i els volums percentil 90 mitjans. Aquests dos paràmetres demostren les mateixes diferències significatives que les que es mostren a l'apartat *Secció Transversal*. Aquest fet es produeix perquè els volums són els resultats de calcular el producte d'aquestes seccions per 0,1 m (profunditat de la caixa d'anàlisi).

Taula 23: Comparació de mitjanes del volum màxim de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Volum màxim mitjà (m³)
1,3m	0,087 ^a
1,9m	0,087 ^a
3,1m	0,086 ^a
2,5m	0,085 ^a
7m	0,071 ^b
11m	0,053 ^c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

El coeficient de determinació de les variables continua sent molt proper a 1.

Taula 24: Comparació de mitjanes del volum percentil 90 de capçada en vinya.

Alçada escaneig	Volum percentil 90 mitjà (m ³)
1,3m	0,075a
1,9m	0,073a
3,1m	0,073a
2,5m	0,072a
7m	0,060b
11m	0,043c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

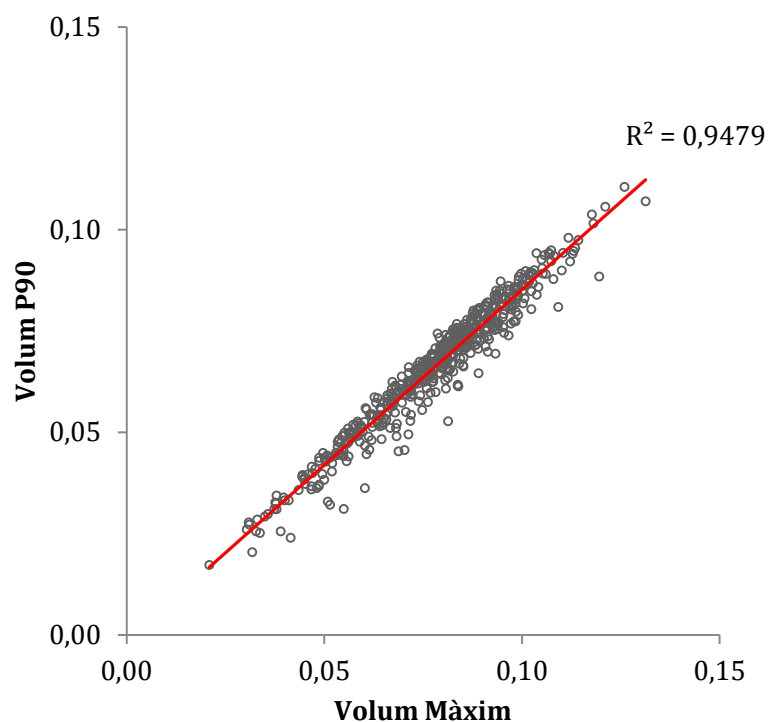


Figura 40: Correlació dels volums de capçada màxims i percentil 90 de la vinya.

4.3. CORRELACIÓ ENTRE ALÇADES D'ESCANEIG PER VELOCITAT LENTA

Tal com s'ha comentat detalladament als apartats 4.1 i 4.2, els paràmetres d'anàlisi tractats en aquest treball es veuen influenciats en augmentar l'alçada de la posició del sensor (escanejos aeris), provocant una disminució dels valors en els resultats obtinguts. Aquest fenomen s'identifica com "efecte alçada". Aquesta situació es dona en els dos cultius analitzats en aquest estudi.

Enfront aquesta situació, es planteja analitzar la correlació per a les diferents alçades d'escaneig emprades per tal de determinar un factor de correcció. Es correlaciona, per al cas de les pomeres, l'alçada de 13 m enfront de la d'1,3 m i de la de 2,5 m. En el cas de la vinya, es correlaciona l'alçada d'11 m enfront de la d'1,3 m i de la de 2,5 m. Es duu a terme un ajust lineal entre les dades, de manera que, el factor de correcció correspon a l'equació tipus d'una funció lineal (pendent i desfasament de l'origen). S'estudien els paràmetres d'amplada màxima, alçada màxima i secció transversal màxima.

Les alçades escollides corresponen a les alçades més baixes i més altes d'escaneig (1,3 m, 13 m i 11 m) i a la que es considera que és una posició fiable per tal d'obtenir resultats verídics i òptima per al funcionament del sensor (2,5 m).

Per ambdós cultius s'observa que no hi ha una bona correlació entre les alçades d'escaneig analitzades i per tant, no s'han emprat els factors de correcció calculats.

4.3.1. POMERES

La Figura 41 mostra els resultats de la correlació, per a cada variable d'estudi, entre les dades obtingudes a les alçades d'escaneig d'1,3 m enfront de la de 13 m. Per a totes elles, tal com s'ha demostrat amb la separació de mitjanes, es dona un mal ajust entre les dades. En tots els casos els resultats són significatius ($p < 0,001$). Els factors de correcció a utilitzar en cada cas serien:

- **Amplada:** $y = 0,416x + 0,417$
- **Alçada:** $y = 0,485x + 1,358$
- **Secció transversal:** $y = 0,815x + 0,704$

On y és la variable corregida mesurada des de 13 m i x és la variable de referència.

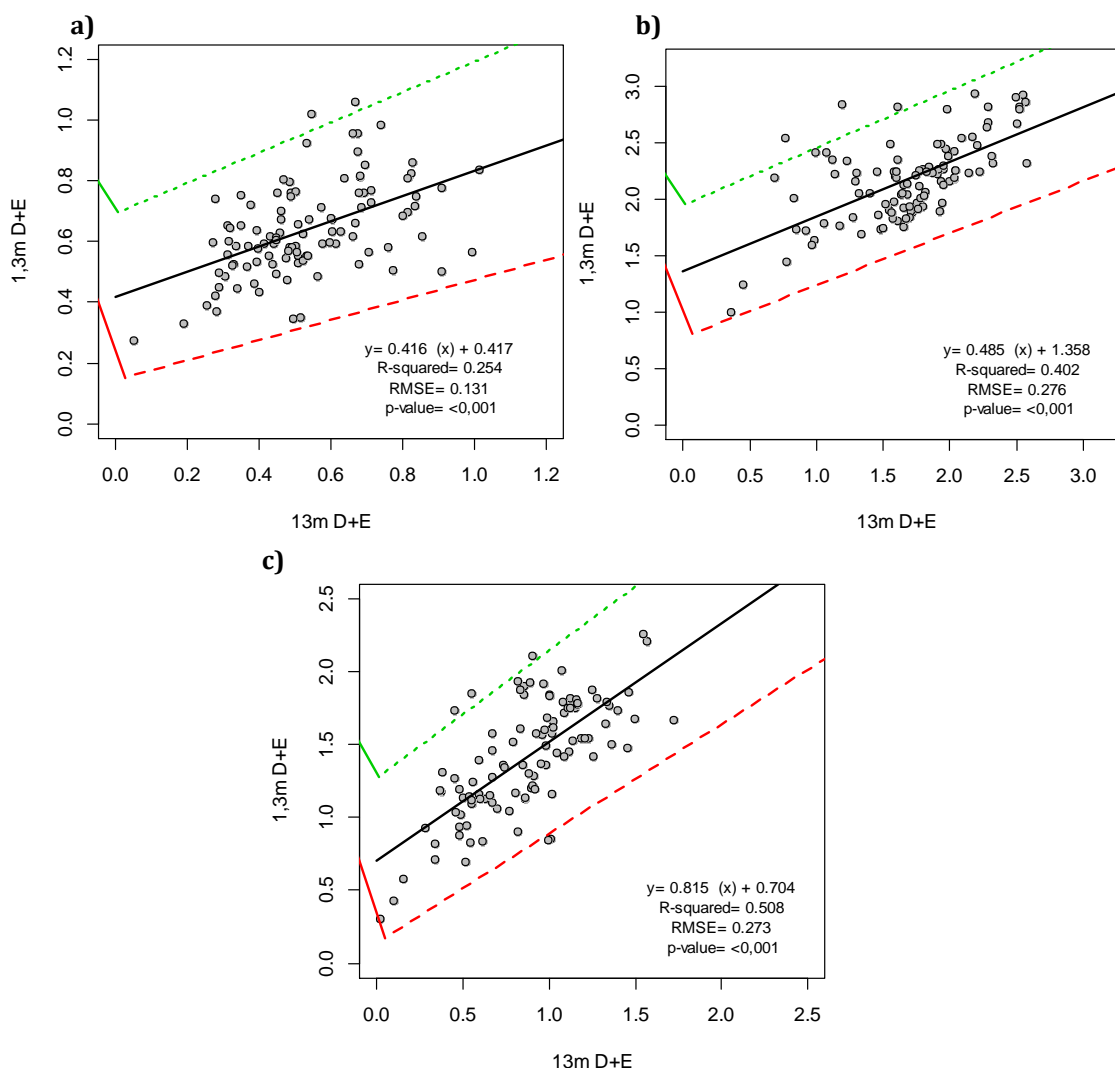


Figura 41: Correlació entre les altures d'escaneig d'1,3 m i 13 m per les amplades **(a)**, alçades **(b)** i seccions transversals màximes **(c)** de capçada de les pomeres.

La Figura 42 mostra els resultats de la correlació, per a cada variable d'estudi, entre les dades obtingues a les alçades d'escaneig de 2,5 m enfront de la de 13 m. Per a totes elles, tal com s'ha demostrat amb la separació de mitjanès, es dona un mal ajust entre les dades. En tots els casos els resultats són significatius ($p < 0,001$). Els factors de correcció a utilitzar en cada cas serien:

- **Amplada:** $y = 0,606x + 0,298$
- **Alçada:** $y = 0,675x + 0,925$
- **Secció transversal:** $y = 0,918x + 0,495$

On y és la variable corregida mesurada des de 13 m i x és la variable de referència.

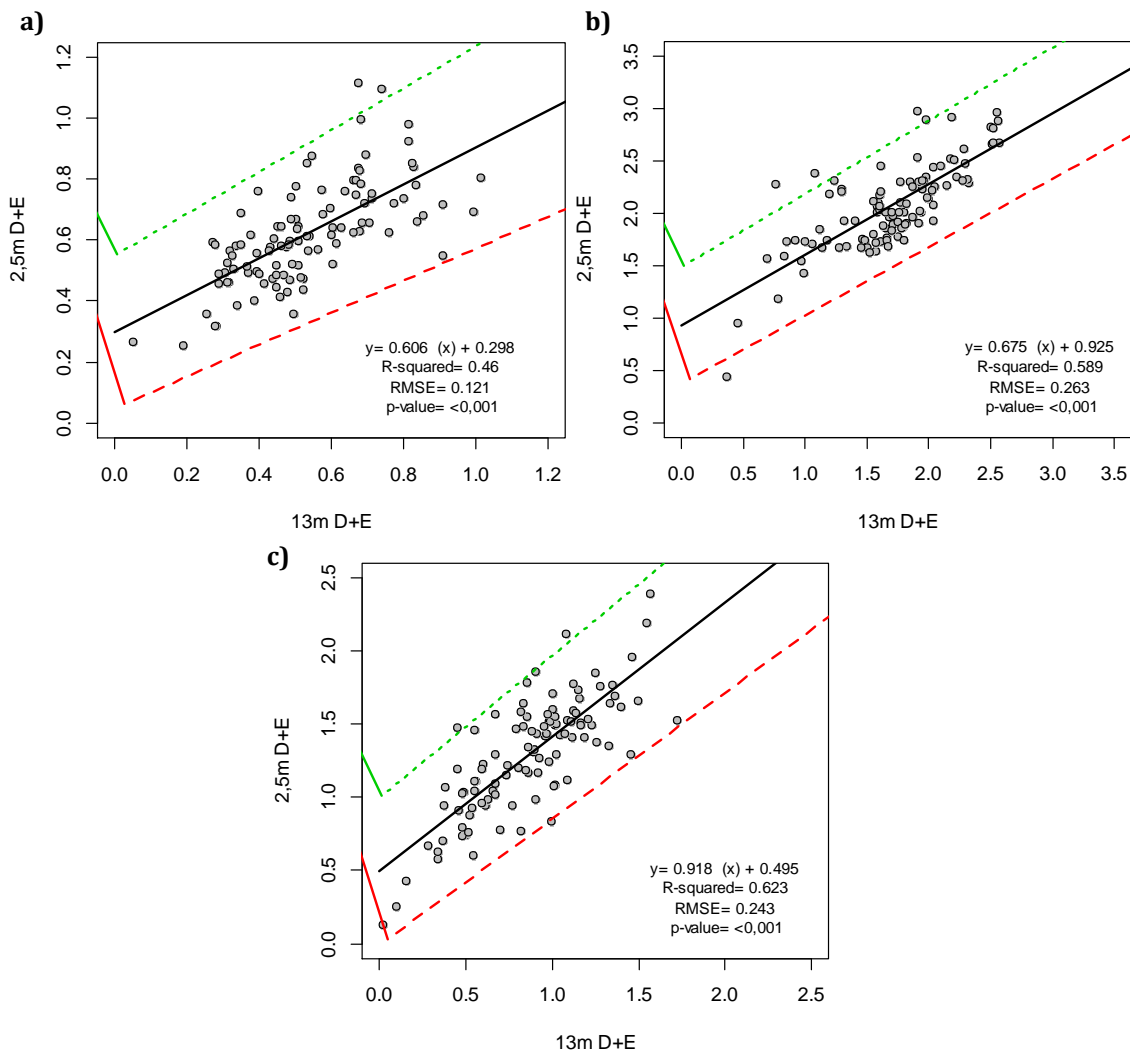


Figura 42: Correlació entre les altures d'escaneig de 2,5 m i 13 m per les amplades **(a)**, alçades **(b)** i seccions transversals màximes **(c)** de capçada de les pomeres.

4.3.2. VINYA

La Figura 43 mostra els resultats de la correlació, per a cada variable d'estudi, entre les dades obtingues a les alçades d'escaneig d'1,3 m enfront de la d'11 m. Per a totes elles, tal com s'ha demostrat amb la separació de mitjanes, es dona un mal ajust entre les dades. En tots els casos els resultats obtinguts no són significatius ($p > 0,001$). Els factors de correcció a utilitzar en cada cas serien:

- **Amplada:** $y = 0,155x + 0,532$
- **Alçada:** $y = 0,151x + 1,237$
- **Secció transversal:** $y = 0,241x + 0,747$

On y és la variable corregida mesurada des de 11 m i x és la variable de referència

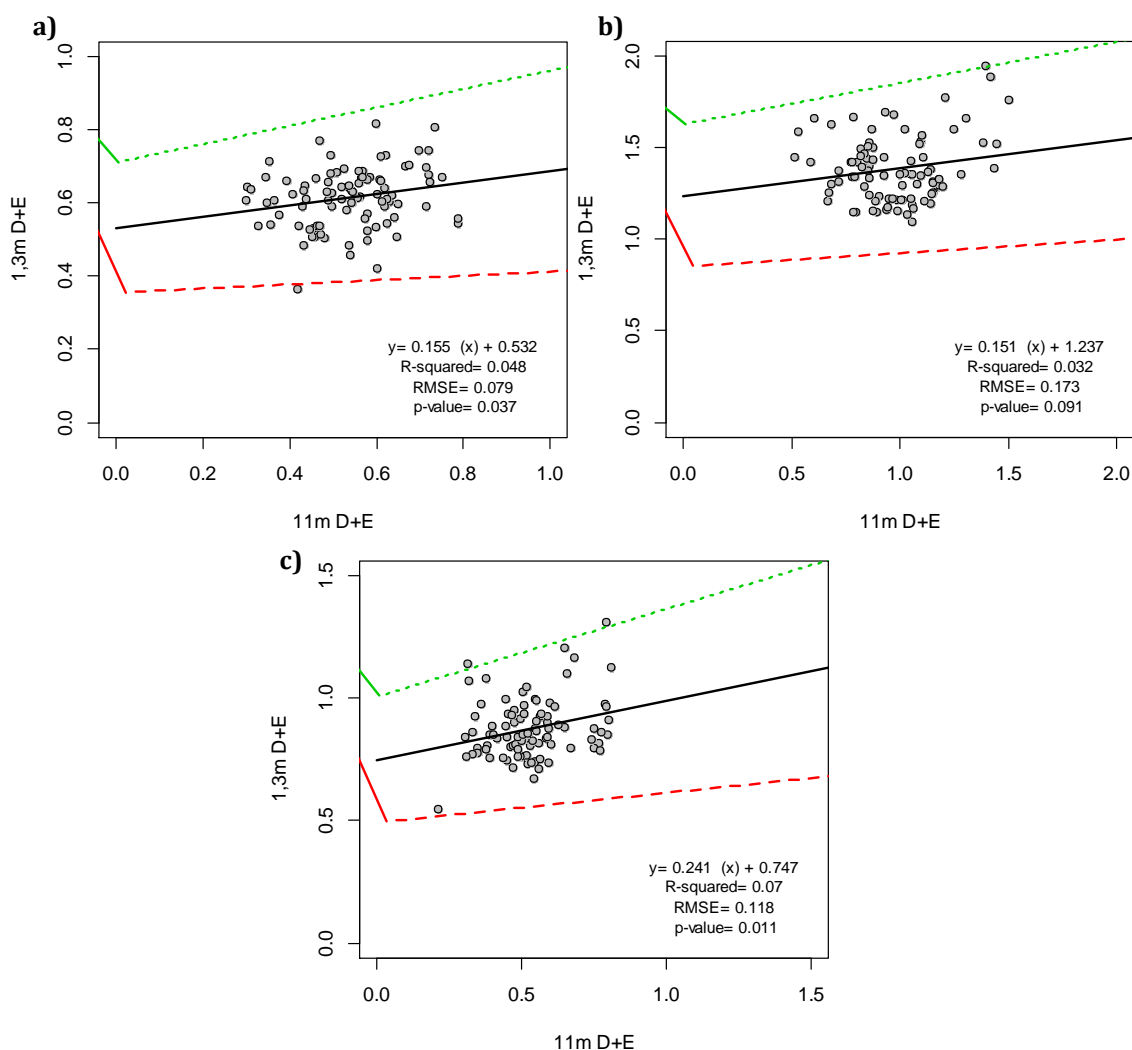


Figura 43: Correlació entre les alçades d'escaneig d'1,3 m i 11 m per les amplades **(a)**, alçades **(b)** i seccions transversals màximes **(c)** de capçada de la vinya.

La Figura 44 mostra els resultats de la correlació, per a cada variable d'estudi, entre les alçades d'escaneig de 2,5 m enfront de la d'11 m. Per a totes elles, tal com s'ha demostrat amb la separació de mitjanes, es dona un mal ajust entre les dades. En tots els casos els resultats obtinguts no són significatius ($p > 0,001$). Els factors de correcció a utilitzar en cada cas serien:

- **Amplada:** $y = 0,155x + 0,532$
- **Alçada:** $y = 0,151x + 1,237$
- **Secció transversal:** $y = 0,241x + 0,747$
- On y és la variable corregida mesurada des de 11 m i x és la variable de referència.

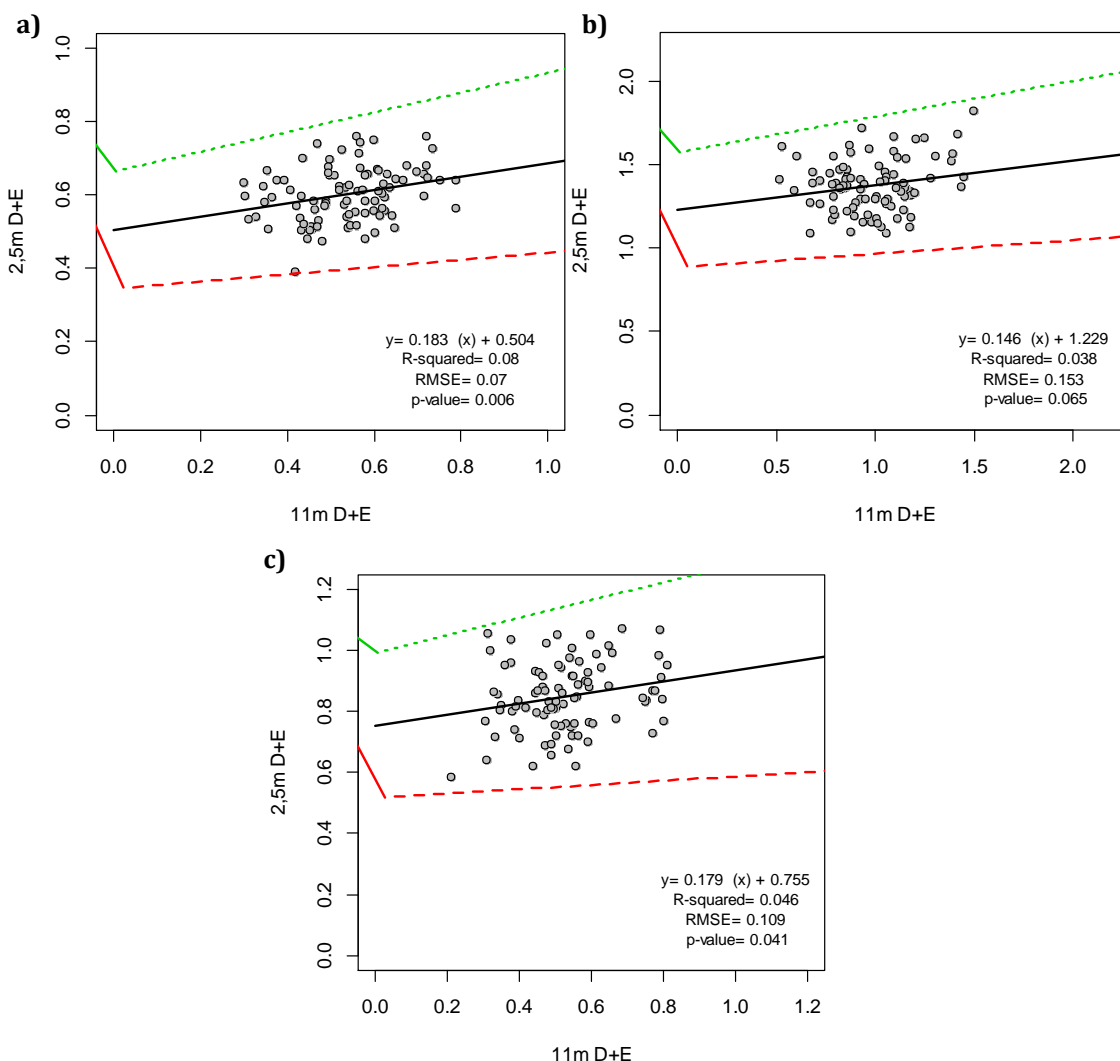


Figura 44: Correlació entre les altures d'escaneig de 2,5 m i 11 m per les amplades **(a)**, alçades **(b)** i seccions transversals màximes **(c)** de capçada de la vinya.

4.4. COMPARATIVA ENTRE VELOCITATS D'ESCANEIG

Donat que la plataforma elevadora avançava a una velocitat mitjana de $0,65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (tant per la pomera com per la vinya, aproximadament) durant la presa de dades a camp, es creu necessari simular diferents velocitats d'avanç amb el mètode explicat a l'apartat 3.2.2 per tal d'augmentar la capacitat de treball del mecanisme. Tant per la pomera com per la vinya s'ha procedit a analitzar només els paràmetres d'amplada màxima, alçada màxima i secció transversal màxima obtinguts per una alçada d'escaneig de 2,5 m. En aquest apartat s'analitza la separació de mitjanes calculada pel mètode Tukey-Kramer HSD ($\alpha=0,05$). S'imposa la condició que les diferents velocitats estudiades no presentin diferències significatives amb la velocitat inicial.

4.4.1. POMERES

La Taula 25 mostra que en augmentar la velocitat d'avanç de la plataforma, de forma teòrica, els resultats d'amplada màxima es veuen afectats i disminueixen el seu valor. Les amplades no presenten diferències significatives entre elles fins a una velocitat màxima de 5 vegades la inicial. Es considera que com a màxim la plataforma podria avançar a una velocitat de 3,42 km·h⁻¹ per tal d'adquirir dades properes a les de la velocitat inicial.

Taula 25: Comparació de les amplades màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Amplada màxima mitjana (m)
v0	0,619a
v0 x2	0,598ab
v0 x3	0,585ab
v0 x4	0,574abc
v0 x5	0,561abc
v0 x7	0,543bc
v0 x10	0,516c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

L'alçada màxima (Taula 26) no es veu afectada en augmentar la velocitat d'avanç. Aquest paràmetre, doncs, es veu alterat, únicament, per l'alçada d'escaneig. L'anàlisi emprat no mostra diferències significatives entre els diferents resultats. Per tant, qualsevol velocitat d'avanç, amb un límit de deu vegades la velocitat inicial, permet aconseguir resultats d'alçada màxima ajustats al valor inicial (v0).

Taula 26: Comparació de les alçades màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Alçada màxima mitjana (m)
v0	2,068a
v0 x2	2,055a
v0 x3	2,050a
v0 x4	2,039a
v0 x5	2,038a
v0 x7	2,022a
v0 x10	2,011a

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Finalment, la Taula 27 demostra com la secció transversal màxima també es veu afectada en disminuir la resolució d'escaneig (major velocitat). Els resultats són lògics, doncs cal recordar que aquesta secció ha estat calculada utilitzant l'amplada màxima de capçada. Així doncs, la màxima velocitat d'avanç continua essent de 5 vegades la velocitat inicial.

Taula 27: Comparació de les seccions transversals màximes de capçada de les pomeres escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Secció transversal màxima mitjana (m ²)
v0	1,290a
v0 x2	1,233ab
v0 x3	1,200ab
v0 x4	1,172abc
v0 x5	1,141abc
v0 x7	1,090bc
v0 x10	1,022c

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Un cop analitzades totes les variables d'estudi es determina que la resolució d'escaneig òptima s'obté quan la plataforma avança a una velocitat de 3,42 km·h⁻¹. Aquesta velocitat permet augmentar la capacitat de treball teòrica del mecanisme fent-lo més eficient.

4.4.2. VINYA

L'amplada màxima (Taula 28), en el cas de la vinya, també presenta diferències significatives a partir d'una velocitat teòrica màxima de 3,26 km·h⁻¹. Com a màxim, la plataforma, en una hipotètica situació, hauria d'avançar a aquesta velocitat per tal d'obtenir resultats ajustats als reals.

Taula 28: Comparació de les amplades màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Amplada màxima mitjana (m)
v0	0,603a
v0 x2	0,593ab
v0 x3	0,587ab
v0 x4	0,585ab
v0 x5	0,581ab
v0 x7	0,572b
v0 x10	0,563b

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Pel que fa a l'alçada màxima (Taula 29), es dona una menor variació en els resultats en augmentar la velocitat. En aquest cas, però, la velocitat màxima correspondria a 7 vegades la inicial (4,39 km·h⁻¹).

Taula 29: Comparació de les alçades màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Alçada màxima mitjana (m)
v0	1,372a
v0 x2	1,360ab
v0 x3	1,350ab
v0 x4	1,340ab
v0 x5	1,332ab
v0 x7	1,320ab
v0 x10	1,302b

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Finalment, la secció transversal màxima una major variabilitat entre les dades i en conseqüència una separació de mitjanes més accentuada. Cal destacar que, segons l'anàlisi que s'ha dut a terme, la plataforma hauria d'avançar com a màxim al triple de la velocitat inicial. Tot i el resultat, donat que aquesta secció està calculada mitjançant l'amplada màxima dels ceps (per a cada *llesca* d'anàlisi) s'adopta com a correcta la velocitat d'avanç v_5 , la qual garanteix resultats propers als reals.

Taula 30: Comparació de les seccions transversals màximes de capçada de la vinya escanejades a 2,5 m d'alçada i a diferents velocitats d'avanç.

Velocitat d'avanç	Secció transversal màxima mitjana (m ²)
v_0	0,850a
$v_0 \times 2$	0,830ab
$v_0 \times 3$	0,812ab
$v_0 \times 4$	0,800bc
$v_0 \times 5$	0,800bc
$v_0 \times 7$	0,759cd
$v_0 \times 10$	0,733cd

Mitjanes amb lletres diferents indiquen diferències estadístiques amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.

Una vegada finalitzat l'anàlisi dels paràmetres d'estudi es conclou que la velocitat d'avanç màxima hauria de ser de 3,29 km·h⁻¹. Tal com succeeix amb la pomera aquesta velocitat garantiria resultats molt propers als que s'han obtingut per la velocitat inicial. És convenient destacar, que aquesta anàlisi no s'ha dut a terme utilitzant totes les dades que es van adquirir al camp i que els resultats són fruit d'una simulació d'un conjunt de velocitats.

4.5. RESPOSTA DELS PARÀMETRES D'ESTUDI EN AUGMENTAR LA VELOCITAT

L'adquisició de dades mitjançant el sistema exposat en aquest treball presenta una doble resposta en augmentar l'alçada d'escaneig (resultats obtinguts amb dades reals) i en incrementar la velocitat d'avanç (resultats obtinguts per velocitats simulades). Anteriorment, i de forma individual, s'ha comentat quina és la resposta del sensor per cada un d'aquests factors.

Incrementos de l'alçada d'escaneig provoquen una pèrdua d'informació i en conseqüència una subestimació dels paràmetres obtinguts. Es dona la mateixa resposta en augmentar la velocitat d'avanç, encara que amb una menor accentuació.

En aquest apartat es mostra aquest doble efecte pels paràmetres d'anàlisi màxims, tant pel cultiu de la poma com pel de la vinya.

4.5.1. POMERA

Les figures 45, 46, 47 i 48 mostren les amplades, les alçades, les seccions transversals i els volums màxims mitjans del tram de fila de pomers estudiats per a diferents alçades d'escaneig i per al conjunt de velocitats simulades.

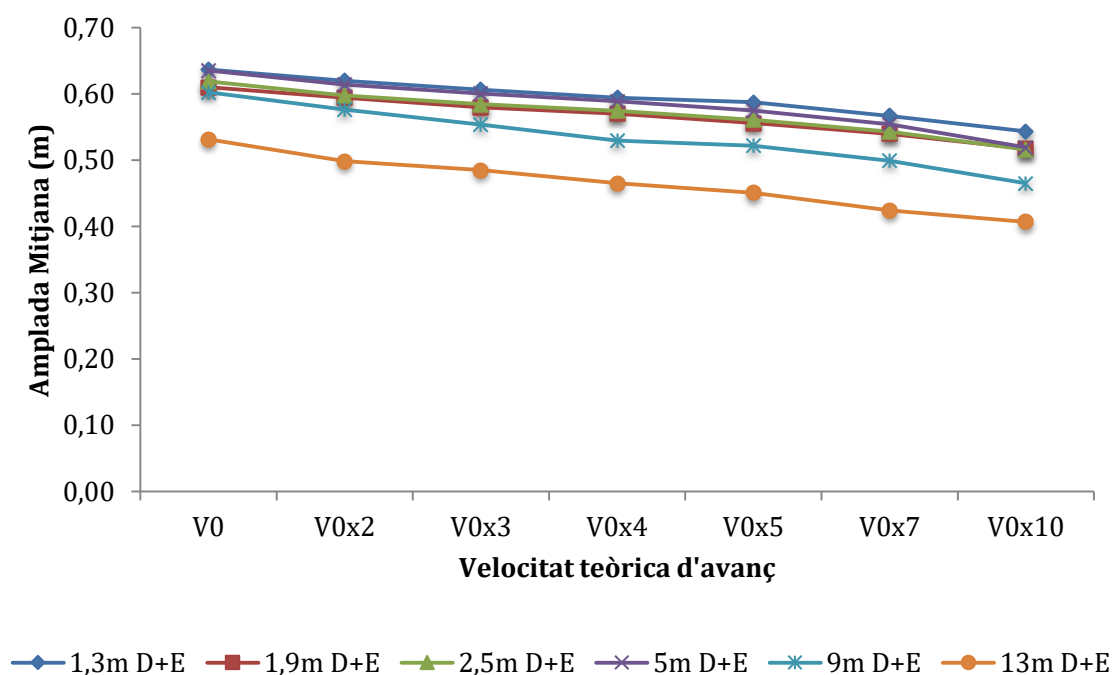


Figura 45: Comparativa de les amplades màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.

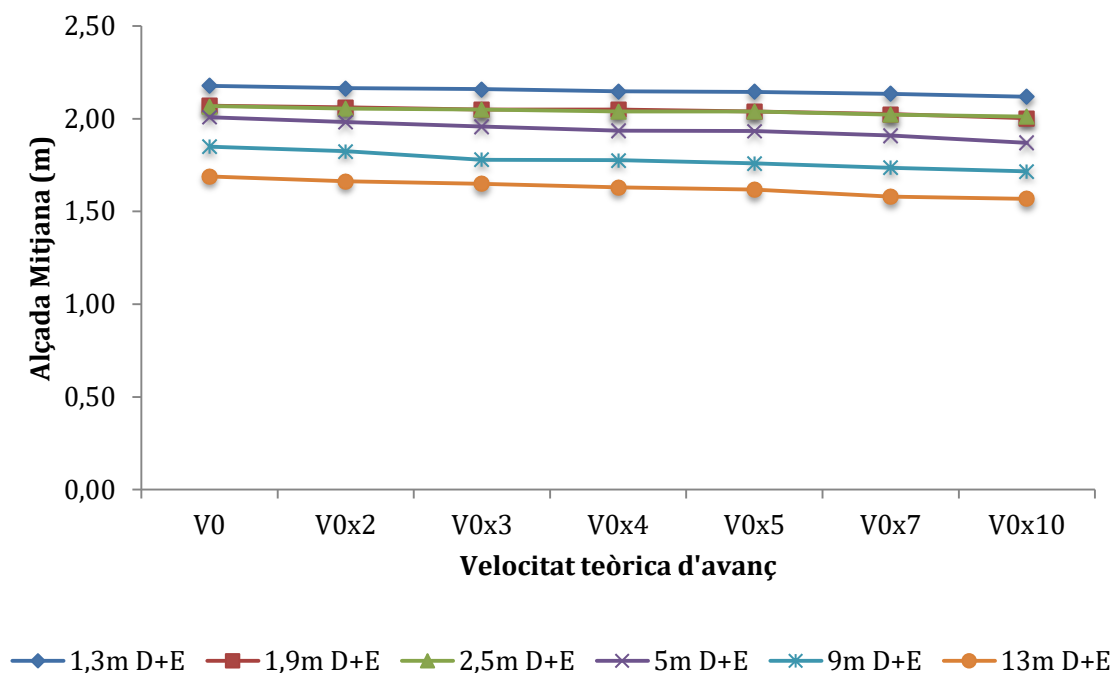


Figura 46: Comparativa de les alçades màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.

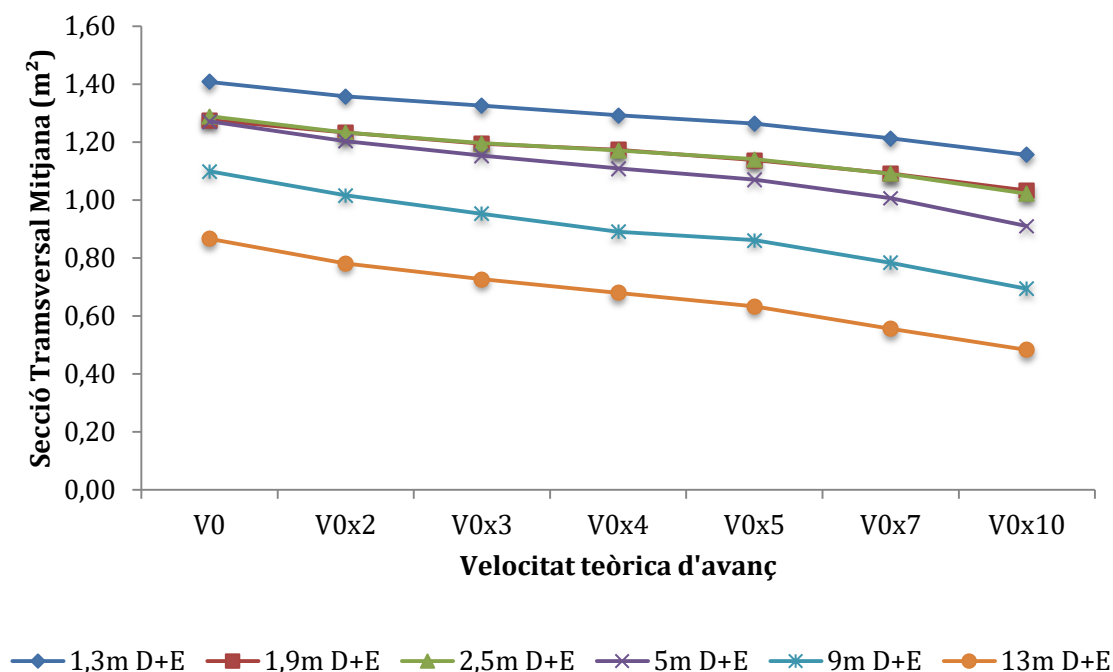


Figura 47: Comparativa de les seccions transversals màximes de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.

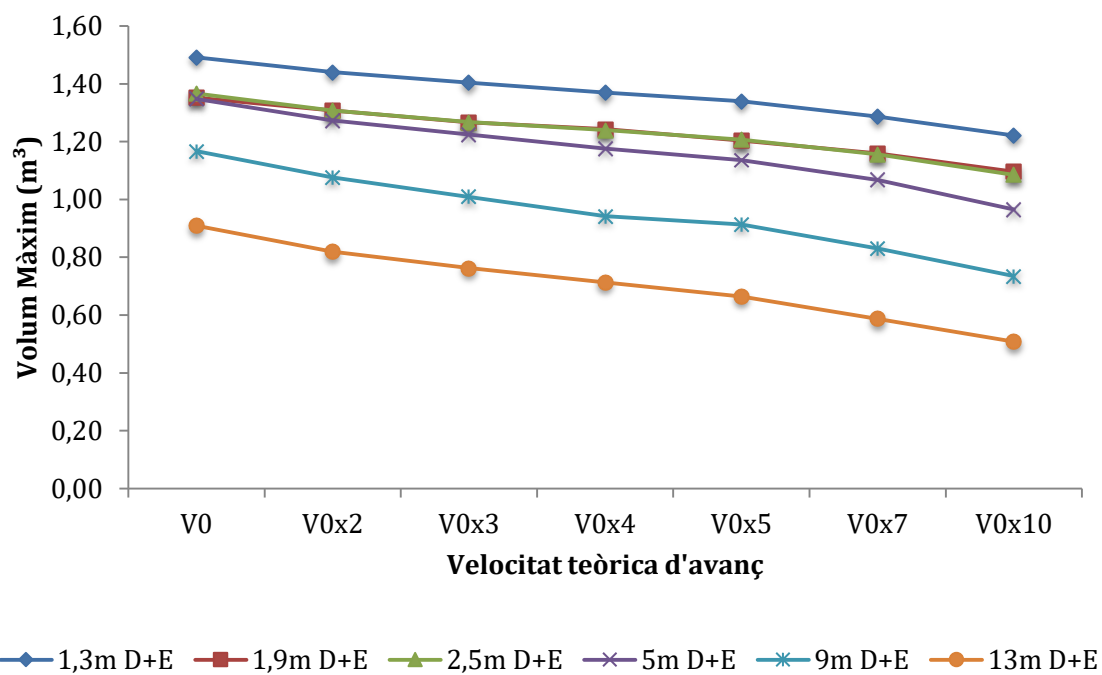


Figura 48: Comparativa dels volums màxims de capçada de les pomeres per a diferents velocitats d'avanç.

4.5.2. VINYA

Les figures 49, 50, 51 i 52 mostren les amplades, les alçades, les seccions transversals i els volums màxims mitjans del tram de fila de vinya estudiada per a diferents alçades d'escaneig i per al conjunt de velocitats simulades.

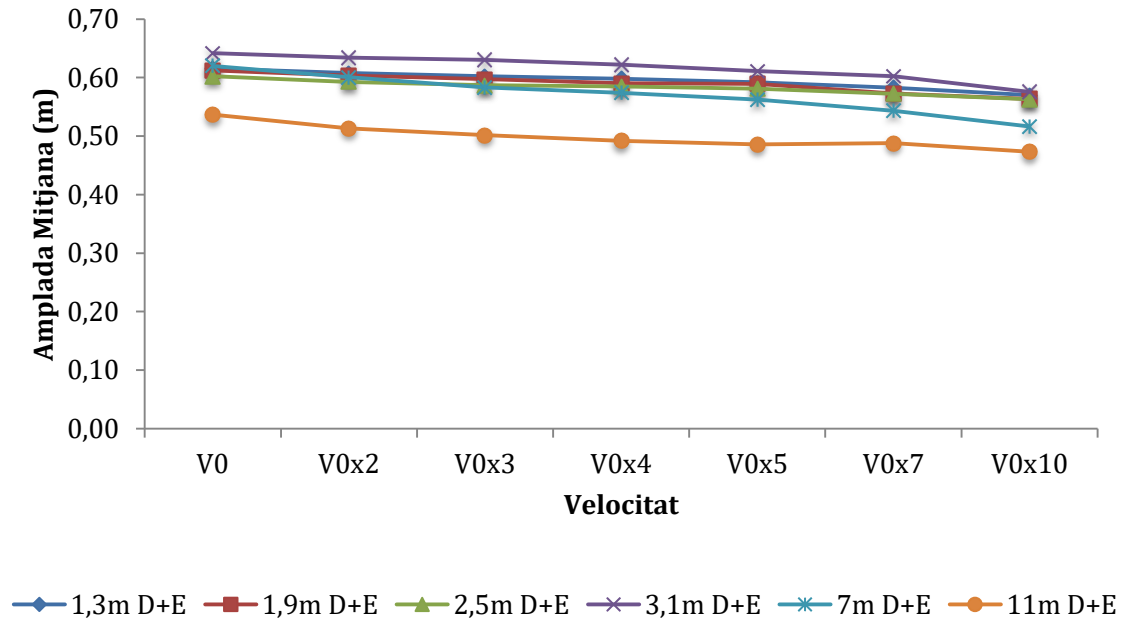


Figura 49: Comparativa de les amplades màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.

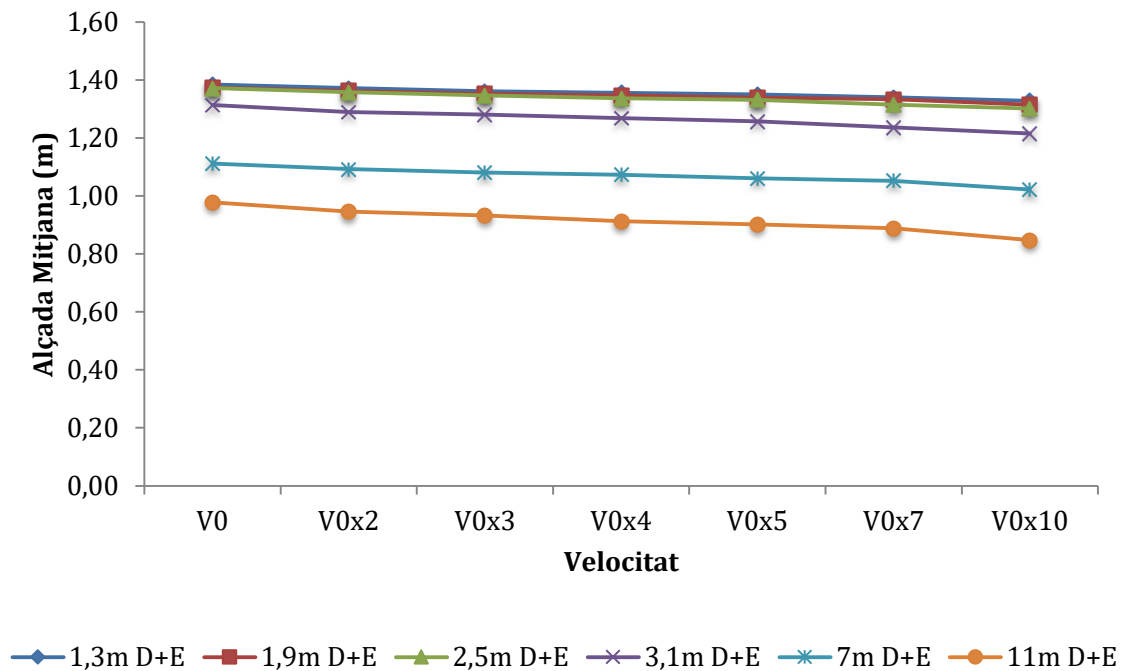


Figura 50: Comparativa de les alçades màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.

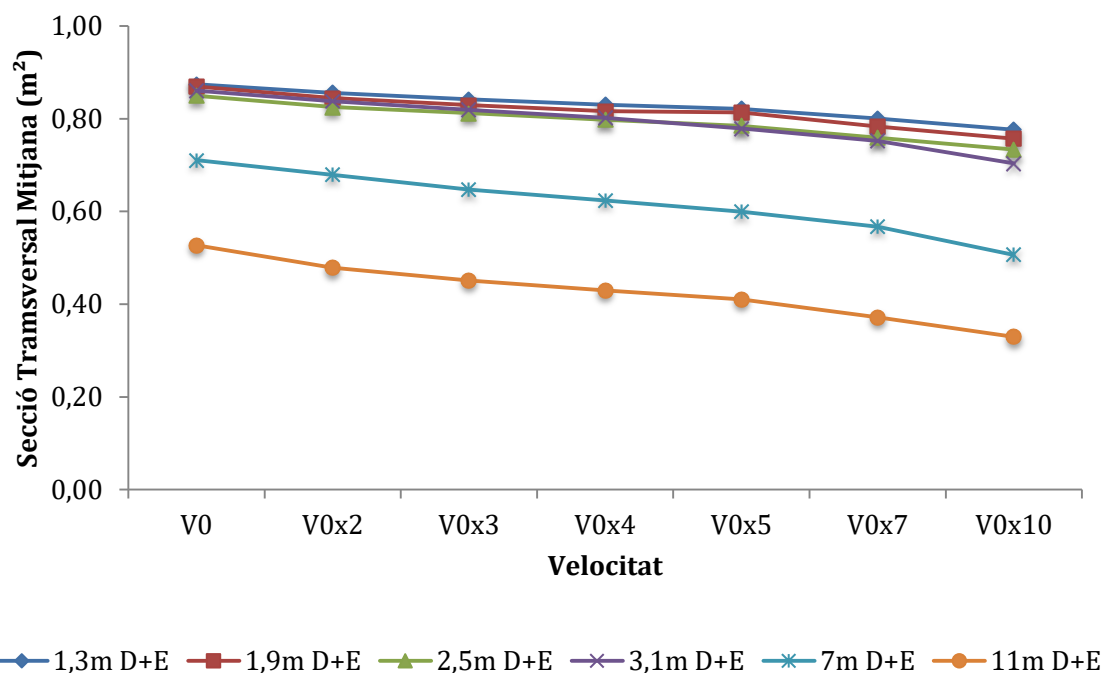


Figura 51: Comparativa de les seccions transversals màximes de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.

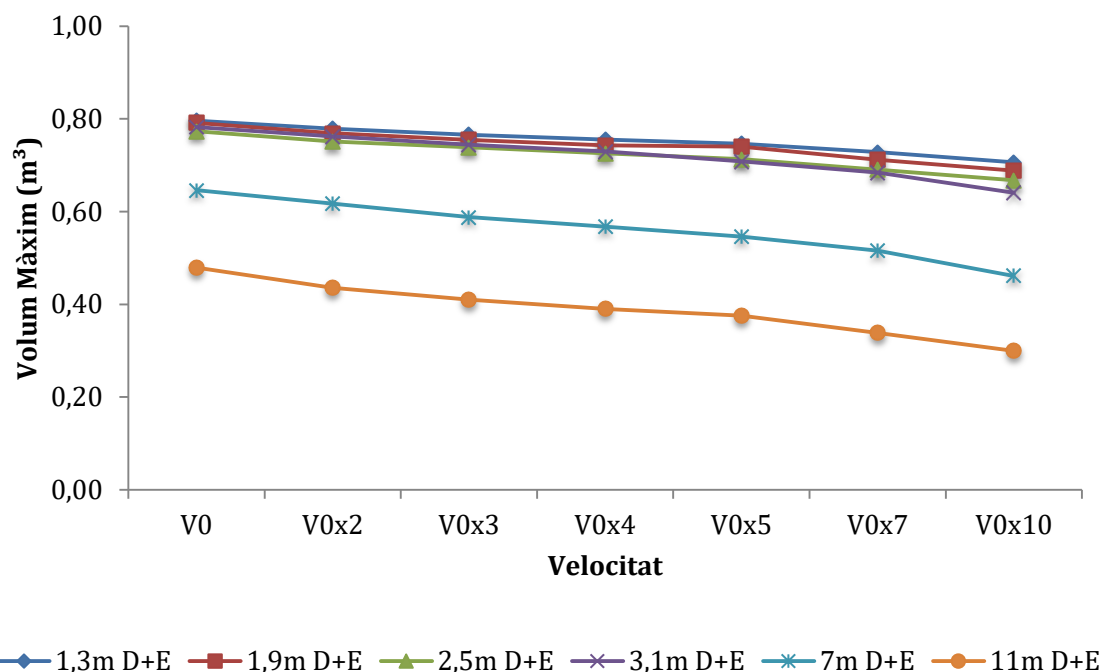


Figura 52: Comparativa dels volums màxims de capçada de la vinya per a diferents velocitats d'avanç.

5. DISCUSSIÓ

La posició del sensor LiDAR i la velocitat d'avanç del sistema emprat en aquest treball experimental són dos factors clau que determinen la capacitat d'obtenir valors coherents. Des del punt de vista agronòmic és necessari que la modelització de la vegetació sigui vàlida i s'adeqüi a la geometria dels arbres. Tal com s'ha exposat anteriorment, una correcta caracterització de la vegetació permet ajustar l'aplicació dels recursos agrícoles (adob, fitosanitaris, aigua, etc.) segons les necessitats que presentin els cultius.

Els paràmetres calculats en aquest treball han estat escollits per tal de poder aconseguir una caracterització completa de les fileres analitzades. Variables com l'amplada, l'alçada i el volum de vegetació són essencials per optimitzar recursos i adaptar les dosis d'aplicació. No obstant això, en aquest experiment no es disposa d'un patró i, per tant, no es coneix amb exactitud si els resultats són versemblants tot i que en altres treballs del GRAP s'està estudiant l'error total que comet el sistema.

En primer lloc, cal ressaltar que la decisió d'eliminar de l'anàlisi els núvols de punts obtinguts de sobre filera ha estat presa pel principi de funcionament del sensor LiDAR. La modelització per sobre la fila, impedeix que els rajos d'infraroig del sensor no captin les parts inferiors del conjunt vegetatiu. Així doncs, els resultats que s'han obtingut són fruit de l'anàlisi de la resta d'alçades d'escaneig.

Per ambdós cultius, s'ha validat la hipòtesi de partida i s'ha demostrat que en augmentar l'alçada d'escaneig els valors de les variables d'estudi disminueixen significativament. S'adopta el concepte "efecte alçada" per a fer referència a aquest fenomen.

Analitzant els cultius de forma individual es determina que, per al cas de la pomera, les amplades, les alçades i les seccions transversals presenten una sensibilitat semblant en incrementar l'alçada del sensor. Tanmateix, en el cas de la vinya, l'efecte alçada és més rellevant a l'hora de calcular les alçades dels ceps escanejats. Un cop obtinguts i analitzats els resultats amb el mètode Tukey-Kramer

HSD s'adopta que, per a la pomera, el sensor ha d'estar situat, com a màxim, a 5 m d'alçada. Aquest punt permetria escanejar mitjançant les dues vies d'escaneig proposades. Per a la vinya, en canvi, l'alçada màxima és de 3,1 m i únicament permetria escanejar per via terrestre.

A causa de les diferències que s'han demostrat entre les vies d'escaneig (terrestre i aèria), s'ha considerat la possibilitat d'establir un factor de correcció per a les alçades d'escaneig de 13 m, en el cas de la pomera, i d'11 m en el de la vinya. Cada una d'aquestes alçades s'ha correlacionat amb les alçades d'1,3 m (alçada més baixa d'escaneig) i de 2,5 m. En aquest cas, aquesta alçada s'ha escollit com a representativa, donat que no es disposa d'un patró. Tal com es mostra a l'apartat de Resultats, les diferents correlacions calculades presenten un coeficient de determinació molt distant d'1, la qual cosa significa un mal ajust entre dades i en conseqüència, una dificultat per establir l'índex de correcció.

Pel que fa als resultats que s'han obtingut del conjunt de velocitats simulades s'ha demostrat que increments de la velocitat d'avanç provoquen una pèrdua d'informació que influeix a les variables d'estudi. S'estimava que petites variacions de la velocitat no provocarien una disminució de dades que acabessin sent significatives. No s'esperava, però, que per als dos cultius es pogués multiplicar la velocitat inicial (v_0) fins a 5 vegades, assolint els 3,42 km·h⁻¹ pel cultiu de la poma i els 3,29 km·h⁻¹ per al de la vinya.

Aquestes velocitats d'avanç permeten incrementar la capacitat de treball del sistema descrit en aquest document. A més a més, es considera que aquestes velocitats són lògiques, ja que són típiques per algunes tasques de camp (poda, desbrossat, aplicació de fitosanitaris, etc.). A més a més, es podria donar la hipotètica situació d'implementar el sistema LiDAR a un tractor i dur a terme una tasca de camp de manera simultània. Un exemple seria escanejar la vegetació mentre es desbrossa la coberta vegetal dels carrers.

Finalment, és necessari destacar que els resultats que s'han obtingut en aquest treball experimental han estat per un sistema MTLs concret i per una plantació

concreta. Així doncs, en altres situacions (diferent sensor LiDAR, diferent marc de plantació, diferent edat del cultiu, etc.) es podrien donar resultats diferents.

6. AVALUACIÓ ECONÒMICA

6.1. ESCANEIG TERRESTRE

El pagament d'inversió inicial és independent del cultiu que s'analitza. La compra de diferents materials, com els que es mostren a la Taula 31, és necessària per poder dur a terme la caracterització dels cultius exposats en aquest treball. S'observa que el pagament inicial gira entorn dels 22.000 €, cosa que suposa que l'activitat productiva de la inversió haurà de ser tal que permeti recuperar-la en el període de temps estipulat.

Taula 31: Pagament d'inversió inicial per l'escaneig terrestre.

PAGAMENT D'INVERSIÓ	
<i>Concepte</i>	<i>Cost (€)</i>
Sensor LiDAR <i>HOKUYO UTM30-LX-EW</i>	5.250,00
Sistema de Georeferenciació	14.500,00
Sistema d'adquisició de dades	2.000,00
Material divers (suport i cablejat)	200,00
TOTAL	21.950,00

Es té en compte el lloguer d'un tractor agrícola com a despeses. El marc de plantació i la velocitat d'avanç són dos factors clau per calcular les despeses, que varien segons el nombre d'hectàrees escanejades. Així doncs, donat que el cultiu de la poma es troba amb un marc de plantació de 4 m entre fileres i la velocitat d'avanç és, aproximadament, de 3,42 km·h⁻¹, les despeses seran de 31,21 €·ha⁻¹ (Taula 32).

Taula 32: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de pomers.

DESPESES	
<i>Concepte</i>	<i>Cost (€·ha⁻¹)</i>
Lloguer tractor fruiter	11,21
Servei tècnic (camp + gabinet)	20,00
TOTAL	31,21

El cultiu de la vinya presenta una velocitat òptima d'escaneig similar al de la poma ($3,29 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Tanmateix, es troba amb un marc de plantació amb major densitat de plantes per metre quadrat (3,5 m entre fileres) i provoca, per tant, que els preus d'escaneig unitaris siguin 2 € més elevats (Taula 33).

Taula 33: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de vinya.

DESPESES	
<i>Concepte</i>	<i>Cost (€·ha⁻¹)</i>
Lloguer tractor fruiter	13,16
Servei tècnic (camp + ganivet)	20,00
TOTAL	33,16

A continuació es calcula quin és el preu de venda del servei per recuperar la inversió amb un període de temps de 10 anys tenint en compte que.

- En un mes es poden arribar a escanejar fins a 20 ha.
- La campanya d'escaneig té una durada de 4 mesos.
- Interès (r)=0,05.

Es mostra la valoració econòmica a la Taula 34.

Per tal que l'empresa pugui recuperar la inversió en un període de temps de 10 anys serà necessari que el preu de venda mínim sigui de $66,75 \text{ €}\cdot\text{ha}^{-1}$ pel cas de la poma i de $68,70 \text{ €}/\text{ha}$ pel cas de la vinya. Es mostra, doncs, una variació de $2 \text{ €}\cdot\text{ha}^{-1}$ segons el cultiu escanejat. Aquests preus de venda garanteixen un flux de caixa anual de 2.842,63 €. Cal destacar, que el preu del servei podria ser superior al que s'ha calculat en aquest apartat sempre que estigui s'ajusti als preus del mercat.

Taula 34: Valoració econòmica per a l'escaneig terrestre (€).

K0	21.950,00		
FC 1..10	2.842,63		
r	0,05		

T	FC, K	FC, K desc	Acumulat
0	-21950,00	-21950,00	-21950,00
1	2842,63	2707,26	-19242,74
2	2842,63	2578,35	-16664,39
3	2842,63	2455,57	-14208,83
4	2842,63	2338,63	-11870,19
5	2842,63	2227,27	-9642,92
6	2842,63	2121,21	-7521,71
7	2842,63	2020,20	-5501,51
8	2842,63	1924,00	-3577,51
9	2842,63	1832,38	-1745,13
10	2842,63	1745,13	0,00

TIR			5,00%
------------	--	--	--------------

6.2. ESCANEIG AERI

Pel que fa a l'escaneig aeri, es consideren dos conceptes més al pagament de la inversió. Per una banda, la compra del dron, el qual és imprescindible per poder escanejar el cultiu via aèria. Per altra banda, la llicència de vol, la qual és d'obligat per a sobrevolar les parcel·les. Així doncs, la inversió inicial ascendeix prop dels 29.000 €, el qual suposa un increment de 7.000 € respecte a l'escaneig terrestre.

Les taules 35 i 36 mostren el pagament de la inversió i les despeses d'escaneig d'1 ha de pomers i de vinya. Les velocitats d'avanç són les mateixes que per l'escaneig terrestre. La Taula 37 mostra la valoració econòmica per a l'escaneig aeri.

Taula 35: Pagament d'inversió inicial per l'escaneig aeri.

PAGAMENT D'INVERSIÓ	
<i>Concepte</i>	<i>Cost (€)</i>
Sensor LiDAR <i>HOKUYO UTM30-LX-EW</i>	5.250,00
Sistema de Georeferenciació	14.500,00
Sistema d'adquisició de dades	2.000,00
Material divers (suport i cablejat)	200,00
Dron agrícola	6.000,00
Llicència vol	1.000,00
TOTAL	28.950,00

Taula 36: Despeses per l'escaneig terrestre d'una plantació de pomers i de vinya.

DESPESES	
<i>Concepte</i>	<i>Cost (€·ha⁻¹)</i>
Servei tècnic (camp + ganivet)	20,00
TOTAL	20,00

Tal com s'exposa a l'apartat anterior, es calcula quin ha de ser el preu de venda del servei per tal de recuperar la inversió en un període de temps de 10 anys. Es consideren els següents paràmetres:

- En un mes es poden arribar a escanejar fins a 20 ha.
- La campanya d'escaneig té una durada de 4 mesos.
- Interès (r)=0,05.

Taula 37: Valoració econòmica per a l'escaneig aeri (€).

K0	28.950,00		
FC 1..10	3.749,16		
r	0,05		

T	FC, K	FC, K desc	Acumulat
0	-28.950,00	-28.950,00	-28.950,00
1	3749,16	3570,63	-25379,37
2	3749,16	3400,60	-21978,78
3	3749,16	3238,66	-18740,11
4	3749,16	3084,44	-15655,67
5	3749,16	2937,56	-12718,11
6	3749,16	2797,68	-9920,43
7	3749,16	2664,46	-7255,98
8	3749,16	2537,58	-4718,40
9	3749,16	2416,74	-2301,66
10	3749,16	2301,66	0,00

TIR	5,00%		
------------	--------------	--	--

En aquest cas, l'empresa ha d'oferir el seu servei a un preu de 66,86 €/ha⁻¹ per tal d'aconseguir un flux de caixa anual de 3.749,16 €. Aquest preu de venda és el mateix pels dos cultius exposats en aquest treball.

7. CONCLUSIONS

Després de les anàlisis realitzades durant la realització d'aquest treball experimental es poden extreure les següents conclusions:

- a. La utilització de sensors LiDAR en l'agricultura i l'adequat maneig de les seves dades, juntament amb un vincle entre la tecnologia i l'agronomia, faciliten la gestió de les explotacions agrícoles. Això permet un millor control dels recursos a aplicar i un correcte ajust de les dosis segons les necessitats que presenten els arbres.
- b. S'ha validat la hipòtesi de que els resultats dels escanejos terrestres són més exactes que els aeris. A més a més, s'ha demostrat que en augmentar l'alçada d'escaneig els resultats de les variables d'estudi disminueixen significativament. S'adopta el concepte "efecte alçada" per aquest fenomen.
- c. L'alçada del sensor i la velocitat d'avanç són dos variables que afecten de forma molt important la correcta caracterització de la vegetació.
- d. Per pomera en plantació convencional a 4 m de carrer, els paràmetres més adequats han resultat ser entre 1,3m i 5m d'alçada del sensor, amb una velocitat d'avanç de fins a 3,42 km·h⁻¹ (cinc vegades la velocitat inicial).
- e. Per la vinya en plantació convencional formada en cordó royat, a 3,5 m de carrer, la posició òptima del sensor se situa entre 1,3m i 3,1m d'alçada i a una velocitat d'escaneig de 3,29 km·h⁻¹ (cinc vegades la velocitat inicial).
- f. L'avaluació econòmica, tenint en compte els resultats tècnics de l'experiència realitzada en aquest treball, condueix a recomanar que la modelització de la vegetació es dugui a terme per via terrestre. També, evidencia la viabilitat econòmica de la inversió, sobretot si l'escaneig es fa



coincidir amb l'execució d'una activitat del procés productiu que comporti l'ús de tractor (com ara, picar la coberta vegetal dels carrers i escanejar les fileres), ja que les velocitats d'avanç admeses per l'escaneig són compatibles amb les habituals en les activitats mecanitzades dels cultius llenyosos.

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Andújar, D., Rosell-Polo, J. R., Fernández-Quintanilla, C., & Dorado, J. (2013). Potential of a terrestrial LiDAR-based system to characterise weed vegetation in maize crops. *Computers and electronics in agriculture*, 92, 11-15.
- Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J. M., Llorens, J., Sanz, R., Masip, J., et al. (2013). Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. *Precision Agriculture*, 14(3), 290–306.
- Bietresato, M., Carabin, G., Vidoni, R., Gasparetto, A., & Mazzetto, F. (2016). Evaluation of a LiDAR-based 3D-stereoscopic vision system for crop-monitoring applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 1-13.
- CloudCompare [GPL software] v2.9.1. (2017). <http://www.cloudcompare.org>.
Accés al d'10 d'octubre de 2017.
- Escolà, A. Camp, F. Solanelles, F. Llorens, J. Planas, S. Rosell, J. R. et al. (2007). Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. In J. V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture'07. Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture* (pp. 563–571). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Escolà, A., Martínez-Casasnovas, J. A., Rufat, J., Arbonés, A., Sanz, R., Sebé, F., ... & Ribes-Dasi, M. (2015). A mobile terrestrial laser scanner for tree crops: point cloud generation, information extraction and validation in an intensive olive orchard. In *Precision agriculture'15* (pp. 253-267). Wageningen Academic Publishers.
- Gongal, A., Amatya, S., Karkee, M., Zhang, Q., & Lewis, K. (2015). Sensors and systems for fruit detection and localization: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 8–19.

- Hämmerle, M., & Höfle, B. (2014). Effects of reduced terrestrial LiDAR point density on high-resolution grain crop surface models in precision agriculture. *Sensors*, 14(12), 24212-24230.
- JMP [SAS software] Pro 13 (2017). <https://www.rstudio.com>. Accés al 10 de gener de 2018.
- Koenig, K., Höfle, B., Hämmerle, M., Jarmer, T., Siegmann, B., & Lilienthal, H. (2015). Comparative classification analysis of post-harvest growth detection from terrestrial LiDAR point clouds in precision agriculture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 112-125.
- Martínez-Casasnovas, J. A., Rufat, J., Arnó, J., Arbonés, A., Sebé, F., Pascual, M., ... & Rosell-Polo, J. R. (2017). Mobile terrestrial laser scanner applications in precision fruticulture/horticulture and tools to extract information from canopy point clouds. *Precision Agriculture*, 18(1), 111-132.
- Rosell, J. R., Llorens, J., Sanz, R., Arno, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., ... & Val, L. (2009). Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(9), 1505-1515.
- RStudio [R software] (2017). <https://www.rstudio.com>. Accés al 26 d'octubre de 2017.



9. ANNEX

CODI D'ANÀLISI LIDAR POINT CLOUD ANALYSIS V.3.9

```
### LIDAR DATA PROCESSING 2017 -> Albert Alsina TFG ###
### LIDAR parameters of crop extraction (LAI, height, width,...)

## Process created by Jordi Llorens on: June 2015
## Process improved on: April 2017
## Process improved on: November 2017
## Process improved on: December 2017

# packages necessaris ()
# Library("data.table")
# Library("splancs")

ptm <- proc.time() # Registre el temps inicial

# Import data from file:
## Funció GET WORKING DIRECTORY:
Path<-paste(getwd(),"/",sep = ""); # només funciona si obres des de l'arxiu estant aquest
# en la carpeta que es vol utilitzar com a treball.

File_ALL<-"Lidar aeri poma fila 0 a 12.txt"
PathFile_ALL<-paste(Path,File_ALL,sep = "")

# library(data.table)
# system.time(fread('../data/2008.csv', header = T, sep = ','))

# faster way
system.time(CLOUD <-fread(PathFile_ALL, sep = "\t", dec = ".", na.strings = "NA",
                           header = F, fill = TRUE, data.table = FALSE))

DataExport<-data.frame(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
DataExport<- DataExport[-1,]

Nuvo1s<-c(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)

# for (r in 1:length(Files)){
for (r in 1:13){
  print(r)
  # r=0

  data<-rbind(CLOUD)
  colnames(data)<-c("X_UTM","Y_UTM","Z_UTM","CARRER","SCAN","ANGLE","DIST_RAD","DIST_PROJ_HOR","Z","NUVOL","C2M")

  # data_AA<-data.frame(data$X_UTM,data$Y_UTM,data$Z_UTM,data$SCAN,data$NUVOL,data$C2M)
  # colnames(data_AA)<-c("X_UTM","Y_UTM","Z_UTM","SCAN","NUVOL","C2M")

  Nuvo1<-Nuvo1s[r] # Aquí podriem fer un bucle que recorri totes les files que s'hagin d'analitzar.

  data<-data[which(data$NUVOL==Nuvo1),]

  # take a random sample of size 5000 from a dataset mydata
  # sample without replacement
  data1 <- data[sample(1:nrow(data), 5000,replace=FALSE),]

  # Fem el gràfic de les dades escollides.
  par(mfrow=c(1,1))
  Titol=paste("Original Cloud ",Nuvo1)
  plot(data1[,1],data1[,2], main=Titel,asp=1, # Només es fa amb una mostra
        xlab="X Coordinate in m",
        ylab="Y Coordinate in m")

  cor(data1[,1],data1[,2])

  model<-lm(data1[,2]~data1[,1]) # Només es fa amb una mostra
  model$coefficients

  as.numeric(model$coefficients[1])
  as.numeric(model$coefficients[2])

  AngleRad<-atan(as.numeric(model$coefficients[2])/1)

  ## Definim aquesta funció que ens servirà més endavant per passar de Polar a Cartesià per a números.
  cart2pol <- function(x, y)
  {
    size <- sqrt(x^2 + y^2)
    angle <- atan(y/x)
    c(size,angle)
  }

  cart2polM <- function(x, y) # Càlcul per a Matrius d'entrada.
  {
    size <- sqrt(x^2 + y^2)
    angle <- atan(y/x)
    return(data.frame(size,angle))
  }
```

[illegible]



```
rect(Centrex-(Amplex/2), Centrey-(Ampley/2), Centrex+(Amplex/2), Centrey+(Ampley/2),col=NULL,border="green",lwd=1.5)

if (nrow(DataBox)>0){ # Comprovem si hi ha algun punt dins la caixa, si no passarem a la següent.
# plot(DataBox[,1],DataBox[,2], asp=1) # Plot 1: Només per visualitzar.
# plot(DataBox[,2],DataBox[,3], asp=1) # Plot 1: Només per visualitzar.
DataRow[i,3]<-nrow(DataBox) #Points

#Procediment per fer particions en alçada.
DataRowCaixa<-data.frame(0,0)
colnames(DataRowCaixa)<-c("AmpleMax","Ample90")

AltMax<-max(DataBox$Z)-min(DataBox$Z)

Div<-Amplex #in m
nn<-trunc(AltMax/Div)+1 # divisions en alçada
k=1;
for (j in 1:nn){
  LimitInferior<-min(DataBox$Z)+((AltMax/nn)*(j-1))
  LimitSuperior<-min(DataBox$Z)+(AltMax/nn)*j
  DataBox2<-DataBox[which(DataBox$Z>LimitInferior & DataBox$Z<LimitSuperior),]
  # points(DataBox2[,2],DataBox2[,3],pch=20, col="grey",cex=0.5) # Plot 7: Només per visualitzar.
  if (nrow(DataBox2)>1){
    DataRowCaixa[k,1]<-max(DataBox2$Y)-min(DataBox2$Y) #AmpleMax
    DataRowCaixa[k,2]<-(quantile(DataBox2$Y, probs = c(.95))[[1]])-(quantile(DataBox2$Y, probs = c(.05))[[1]]) #Ample90
    k<-k+1
  }
}
DataRow[i,4]<-mean(DataRowCaixa$AmpleMax)
DataRow[i,5]<-mean(DataRowCaixa$Ample90)
DataRow[i,6]<-sd(DataRowCaixa$AmpleMax)
DataRow[i,7]<-sd(DataRowCaixa$Ample90)
DataRow[i,8]<-max(DataBox$Z)-min(DataBox$Z)
DataRow[i,9]<-(quantile(DataBox$Z, probs = c(.95))[[1]])-(quantile(DataBox$Z, probs = c(.05))[[1]])

if (AngleRad>0) {
  DataRow[i,10]<-pol2cart(cart2pol(Centrex,Centrey)[1],cart2pol(Centrex,Centrey)[2]+AngleRad)[1];
  DataRow[i,11]<-pol2cart(cart2pol(Centrex,Centrey)[1],cart2pol(Centrex,Centrey)[2]+AngleRad)[2];
} else if (AngleRad<0) {
  DataRow[i,10]<-pol2cart(cart2pol(Centrex,Centrey)[1],cart2pol(Centrex,Centrey)[2]+AngleRad+pi)[1];
  DataRow[i,11]<-pol2cart(cart2pol(Centrex,Centrey)[1],cart2pol(Centrex,Centrey)[2]+AngleRad+pi)[2];
}

# Other calculations Convex hull:
hpts <- chull(DataBox[,2],DataBox[,3])
hpts <- c(hpts, hpts[1])

#library("splancs", lib.loc=~R/win-library/3.0")
if (nrow(DataBox)>1){
# Fem gràfic, però l'haurem de comentar en el cas de voler anar més ràpid.
# par(mfrow=c(1,1)) # Plot 2: Només per visualitzar.
# plot(DataBox[,2],DataBox[,3],asp=1) # Plot 3: Només per visualitzar.
# lines(DataBox[hpts, ][,2],DataBox[hpts, ][,3]) # Plot 4: Només per visualitzar.
## Podem afegir un rectangle marcant el TRV
Punt1x<-min(DataBox$Y)
Punt2x<-max(DataBox$Y)
Punt1y<-min(DataBox$Z)
Punt2y<-max(DataBox$Z)

# rect(Punt1x, Punt1y, Punt2x, Punt2y,col=NULL,border="red",lwd=2) # Plot 5: Només per visualitzar.

## Podem afegir un rectangle marcant el TRV
Punt1x<-DataRow[i,9]
Punt2x<-DataRow[i,10]
Punt1y<-DataRow[i,11]
Punt2y<-DataRow[i,12]

# rect(Punt1x, Punt1y, Punt2x, Punt2y,col=NULL,border="blue",lwd=2) # Plot 6: Només per visualitzar.

xx<-(DataBox[hpts, ]) #we needs the splancs package
Areas<-(areapl(cbind(xx$Y,xx$Z))) # Area in m2
DataRow[i,12]<-Areas
} else {
  DataRow[i,12]<-0
}

DataRow[i,13]<-sum(DataRowCaixa$AmpleMax)*Div
DataRow[i,14]<-sum(DataRowCaixa$Ample90)*Div
DataRow[i,15]<-Nuvo1

} else {
  DataRow[i,]<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
  DataRow[i,1]<-Centrex
  DataRow[i,15]<-Nuvo1
}

}

# clean empty rows:
# DataRow<-na.omit(DataRow) # eliminem les files amb caselles buides (NA)
```



```
par(mfrow=c(3,1))
# plot(DataRow$CentreX,DataRow$Points,type="l",main="Points",xlab="X coordinate in m (turned)",
#      ylab="Points number" )
plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$Ample90,type="l",main="width",
      xlab="X coordinate in m (turned)",
      ylab="width in m" )
plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$Alt90,type="l",main="Height",
      xlab="X coordinate in m (turned)",
      ylab="Height in m" )

plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_CHULL,type="l",main="Seccions",
      xlab="X coordinate in m (turned)",
      ylab="Secció m2", ylim=c(0,3), col="green")
legend("topright", inset=c(0,0), c("S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90"),
      bty="n", fill=c("green","blue","red"), cex=0.85)

lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_AmpleMax,lty=1, col="blue")
lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_Ample90,lty=1, col="red")

DataRow1<-0
DataRow1<-data.frame(DataRow$Nuvol,DataRow$AmpleMax,DataRow$Ample90,DataRow$DVAmpleMax,DataRow$DVAmple90,
                     DataRow$AltMax,DataRow$Alt90,DataRow$S_CHULL,DataRow$S_Ample90,DataRow$S_AmpleMax)
colnames(DataRow1)<-c("Nuvol","AmpleMax","Ample90","DVAmpleMax","DVAmple90","AltMax","Alt90",
                    "S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90")

colnames(DataExport)<-c("Nuvol","AmpleMax","Ample90","DVAmpleMax","DVAmple90","AltMax","Alt90",
                      "S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90")
DataExport<-rbind(DataExport,DataRow1)
}

# Export data.
File<-paste("ExportData_",File_ALL,sep="")
PathFile_ALL<-paste(Path,File,sep = "")
write.table(DataExport, PathFile_ALL, sep="\t", dec=",", row.names = FALSE, col.names=FALSE)
```

